

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství**

Katedra tváření materiálu

**VLIV TECHNOLOGIE KOVÁNÍ A TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ  
NA STRUKTURU A VLATNOSTI ZÁPUSTKOVÉHO VÝKOVKU**

**THE IMPACT OF TECHNOLOGY FORGING AND HEAT  
TREATMENT ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF DIE  
FORGINGS**

**diplomová práce**

**Autor:**

Bc. Ondřej Kotrs

**Vedoucí diplomové práce:**

doc. Ing. Miroslav Greger, CSc.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství  
Katedra tváření materiálu

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Kotrs**  
Studijní program: **N2109 Metalurgické inženýrství**  
Studijní obor: **2109T034 Technologie tváření a úpravy materiálu**  
Téma: **Vliv technologie kování a tepelného zpracování na strukturu a vlastnosti  
zápustkového výkovku**  
**The impact of technology forging and heat treatment on structure and  
properties of die forgings**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Vliv technologie kování na vlastnosti výkovku tažného zařízení z oceli C 45 a oceli BY
3. Optimalizace technologického postupu kování se zaměřením na vlastnosti výkovku
4. Stanovení struktury a mechanických vlastností výkovku po dokování a po tepelném zpracování
5. Analýza dosažených vlastností výkovku
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VAN TYNE, C. J., KRAUSS, G., MATLOU, D. K. Fundamentals and Applications of Microalloying Forging Steels, Editors, *The Minerals, Metals & Materials Society*, Warrendale, Pennsylvania, 1996.
- [2] KRAUSS, G., BANERJI, S. K. Fundamentals of Microalloying Forging Steels, *The Metallurgical Society Inc.*, Warrendale, Pennsylvania, 1987.
- [3] GLADMAN, T. The Physical Metallurgy of Microalloyed Steels, The Institute of Materials, London, England, 1997.
- [4] TAMURA, I., SEKINE, H., TANAKA, T. et al. Thermomechanical Processing of High Strength Low-alloy Steels, Butterworths, London, England, 1988.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Miroslav Greger, CSc.**

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Holesch**

Datum zadání: **29.11.2013**

Datum odevzdání: **18.04.2014**

prof. Ing. Jiří Kliber, CSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ludvík Dobrovský, CSc., Dr.h.c.  
děkan fakulty

## **Prohlášení**

Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.

Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

## **Anotace**

Tématem diplomové práce je „Vliv technologie kování a tepelného zpracování na strukturu a vlastnosti zápustkového výkovku“. Jedná se především o zhodnocení způsobu tepelného zpracování výkovku po dokování, zda je možné nahradit normalizační žíhání řízeným ochlazováním. Z důvodu snížení celkových nákladů na výrobu tažného zařízení. V teoretické části popisují faktory ovlivňující vlastnosti výkovku a postup zápustkového kování. Následuje praktická část, kde jsem zjišťoval mikrostruktury a mechanické vlastnosti daných vzorků. Na základě výsledků jsem navrhl možná opatření, jak získat požadované mechanické vlastnosti.

**Klíčová slova:** zápustkové kování, řízené ochlazování, normalizační žíhání, výkovek

## **Annotation**

The topic of the master thesis is „The impact of technology forging and heat treatment on structure and properties of die forgings“. This is primarily to evaluate the method of heat treatment after forging the dock, whether it is possible to replace the normalization controlled cooling. To reduce the total cost of producing the towing hitch. The theoretical part describes the factors affecting the properties of the forging and die forging process, the practical part is where I explore the microstructure and mechanical properties of the samples. Based on the results, I suggested possible measures to obtain the desired mechanical properties

**Keywords:** die forgings, controlled cooling, normalizing annealing, forgings

## **Poděkování**

Děkuji doc. Ing. Miroslavu Gregerovi, CSc. za ochotu a vedení mé diplomové práce. Dále Ing. Jiřímu Holleschovi, že mi umožnil psát diplomovou práci ve firmě Ostroj a.s. a poskytl potřebné materiály. A především bych rád poděkoval rodině a mým blízkým za podporu během celého studia.

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Vliv technologie kování na vlastnosti výkovku tažného zařízení .....	2
2.1. Zápustkové kování .....	2
2.2. Technologie kování zápustkových výkovků .....	3
2.3. Vliv kování v zápustkách na strukturu a vlastnosti výkovku .....	4
2.3.1. Tvařitelnost kovových materiálů .....	4
2.3.2. Stav napjatosti .....	4
2.3.3. Plastická deformace .....	5
2.3.4. Deformační odpor .....	6
3. Tradiční technologický postup zápustkového kování se zaměřením na vlastnosti výkovku a optimalizace tohoto postupu .....	8
3.1. Postup kování v zápustkových dutinách .....	8
3.2. Přidávky na obrábění a hmotnost výkovku .....	9
3.2.1. Technologické přidávky .....	9
3.2.2. Tolerance a úchytky tvarů a rozměrů .....	12
3.2.3. Dělicí rovina a její poloha .....	12
3.2.4. Hmotnost výkovku .....	13
3.3. Výronková drážka .....	14
3.4. Dělení výchozího materiálu .....	18
3.4.1. Řezání materiálu .....	18
3.4.2. Stříhání materiálu .....	18
3.4.3. Lámání materiálu .....	19
3.5. Ohřev materiálu .....	19
3.5.1. Kovací teplota .....	19
3.5.2. Doba ohřevu .....	20
3.6. Zápustkové kování .....	20
3.6.1. Stroje, na kterých se zápustkové výkovky kovají .....	20
3.6.2. Vyhazovače pro vyhazování výkovku se zápustky .....	22
3.6.3. Předkovací dutina .....	24
3.6.4. Dokončovací dutina zápustky .....	25
3.6.5. Materiály zápustek .....	25
3.6.6. Předehřev zápustek .....	26
3.6.7. Mazání zápustek .....	26
3.6.8. Oprava zápustek vložkováním .....	27

3.7. Dokončení výroby výkovku .....	27
3.7.1. Odstřižení a děrování výkovku.....	27
3.7.2. Rovnání výkovku.....	28
3.7.3. Kalibrování výkovku .....	29
3.7.4. Čištění výkovku.....	29
3.7.5. Tepelné zpracování výkovku.....	29
3.8. Optimalizace technologického postupu.....	31
3.8.1. Materiál výkovku.....	31
3.8.2. Způsob výroby tažného zařízení.....	31
4. Experimentální část .....	35
4.1. Stanovení struktury vzorků.....	35
4.1.1 Postup metalografického výbrusu .....	36
4.1.2. Výsledky struktur .....	38
4.2. Stanovení mechanických vlastností.....	42
4.2.1. Postup tahové zkoušky .....	42
4.2.2. Výsledky tahových zkoušek a mechanických vlastností.....	44
5. Analýza dosažených vlastností výkovku.....	47
5.1. Výsledky tahových zkoušek a jejich porovnání s požadavky zákazníka .....	47
5.2. Návrh pro dosažení optimálních mechanických vlastností výkovků .....	48
6. Závěr.....	49
7. Použitá literatura.....	50
8. Seznam tabulek.....	53
9. Přílohy .....	54

## 1. Úvod

V automobilovém průmyslu se zvyšují nároky na snížení financí potřebných k výrobě automobilu, ale také se zvyšují nároky na snížení hmotnosti vozu, na bezpečnost, cenovou dostupnost a také na snižování provozních nákladů. V dnešní době je nejdůležitějším faktorem snižování ceny nákladů na výrobu automobilů a jejich dílů. Termomechanické zpracování je jedním ze způsobů, jak snížit náklady na výrobu dílů pro automobilový průmysl. Tato technologie nám řízenou deformací, při daném teplotním režimu, umožňuje získat požadované vlastnosti materiálu. Další možností výroby je řízené kování, které využívá vliv plastické deformace na austenitickou mikrostrukturu tak, aby se po přeměně dosáhlo co nejvhodnější mikrostruktury. Díky řízení teplot materiálu při tváření nemusíme zařazovat po dokončení další tepelné úpravy jako je kalení a následně popouštění, a tím ušetříme další náklady.

Mezi hlavní faktory, které brání širšímu rozmachu termomechanickému zpracování při výrobě výkovek z oceli patří vysoké náklady na nástroje, nároky na dobrou technologickou kázeň, nerovnoměrné rozložení teploty a deformace ve výkovku a omezené prostředky na vývoj a zavádění nových technologií. I přes tyto technické potíže se technologie termomechanického zpracování prosazuje v oboru tváření kovů ve stále vyšší míře.

Cíl mé diplomové práce je zjistit, zda je možné nahradit tepelné zpracování výkovku po dokování, jiným a úspornějším tepelným zpracováním, při zajištění požadovaných mechanických vlastností. V mém případě je to, nahrazení normalizačního žíhání řízeným ochlazováním metodou BY, která je popsána níže v mé diplomové práci. Jedná se o výkovek tažného zařízení, který je na obrázku (Obr. 1.1).



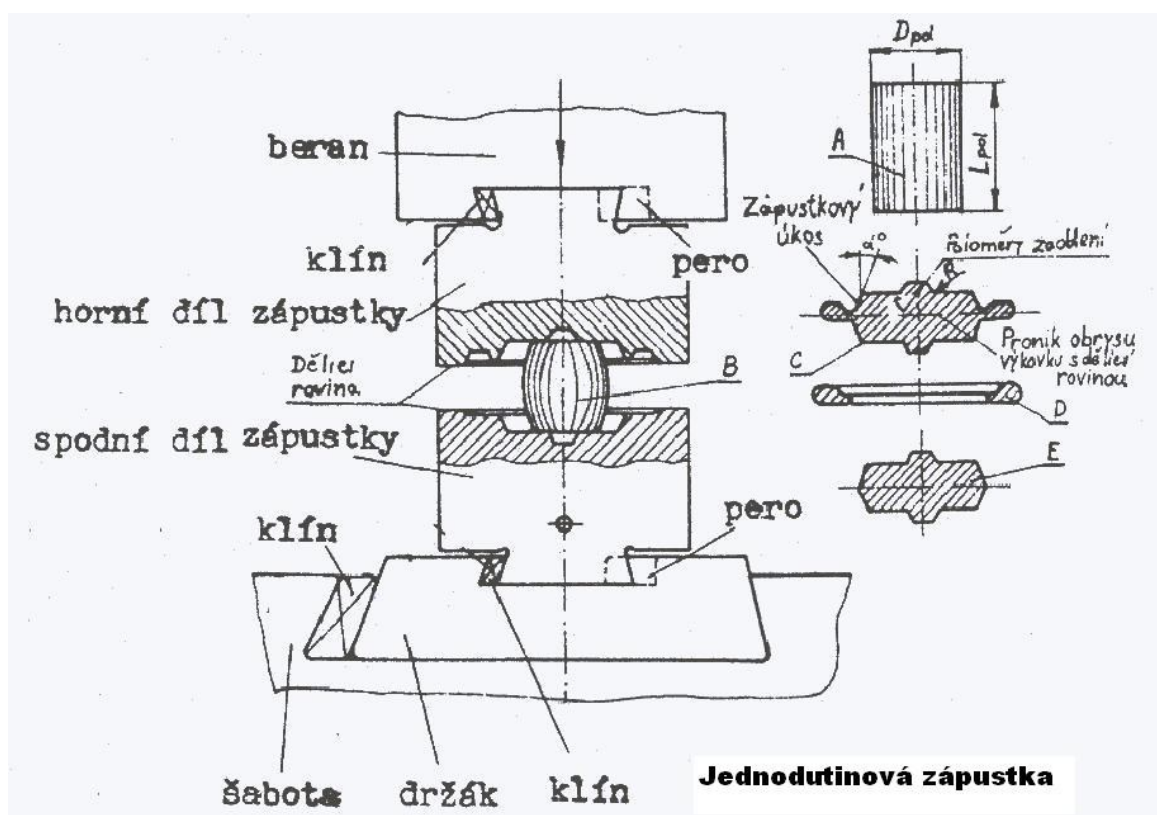
**Obr. 1.1** Tažné zařízení. [1]



## 2. Vliv technologie kování na vlastnosti výkovku tažného zařízení

### 2.1. Záпустkové kování

Záпустkové kování je tváření ohřátého materiálu v jednoúčelových nástrojích, které se nazývají záпустky, to je znázorněno na (Obr. 2.1). Tento způsob kování je jeden ze způsobů tváření, při kterém změnou průřezu výchozího polotovaru získáváme požadovaný tvar výkovku, a to za pomoci působení vnějších sil a zpracováním nad teplotu rekrytalizace. Záпустkové kování slouží k výrobě velkého počtu tvarově stejných součástí z ocelí nebo jiných tvárných slitin [2]. Používá se všude tam, kde je u konstrukčních součástí potřeba vysoká houževnatost, mechanická pevnost a mez únavy. Jedna z hlavních předností kování v záпустce je vysoká produktivita a snadná obsluha, dále potom úspora materiálu a vhodná konečná mikrostruktura. Jistou nevýhodou je omezená velikost volné deformace v dutině záпустky a výkovky mají omezené rozměry a hmotnost. Úspěch kování je podmíněn správnou volbou velikosti a tvaru výchozího polotovaru [3].



Obr. 2.1 Schéma kování v záпустce. [2]

## 2.2. Technologie kování zápusťkových výkovků

Zápusťkovým kovááním nedosahujeme takových přesností a povrchové jakosti jako při strojírenském obrábění. Tvar výkovku je potřeba při kováání v zápusťce přizpůsobit, a to technologickými přídávky. Rozměry zápusťky jsou vždy větší než konečný výrobek, a to hlavně z důvodu smrštění materiálu při chladnutí.

Kováání v zápusťkách se dělí podle toho, v kolika dutinách je daný výkovek vyroben. Jednodutinové zápusťky se používají při kováání jednoduchých tvarů. Výhoda tohoto typu zápusťky je rychlost vykování a také menší ztráta tepelné energie. Při kováání složitějších tvarů je potřeba využít více dutin, ty nám zajišťují dobré tečení materiálu v dutině zápusťky. Tento způsob se nazývá kováání v postupových zápusťkách. Dokončovací dutina se umísťuje v ose kovacího stroje a dutiny pro kováání předkovku se ukládají vedle dokončovací, a to hlavně z důvodů působení kovací síly na zápusťku. Z toho vyplývá, že síla pro kováání předkovku je menší než síla pro kováání výkovku. Tohle opatření se provádí z důvodu, že výkovek chladne a roste jeho deformační odpor a také proto, že největší plochu má výkovek s výronkem.

Kovací operace při kováání v zápusťkách rozdělujeme na: rozdělávání, předkování, kováání a ostřížení výronku. Předkování se provádí buď na volných kovacích strojích, v zápusťkách nebo na kovacích válcích. Dokončovací dutina zápusťky je po okraji vybavena takzvanou výronkovou drážkou, do které je při kováání vytlačen přebytečný kov, a tím vzniká výronek. Jako poslední operace následuje odstranění výronku.

Speciální typ kováání v uzavřených zápusťkách to je zápusťka bez výronkové dutiny. Je to velice náročné na splnění všech požadovaných podmínek (přesný objem materiálu, konstantní kovací teplota a teplota zápusťek), dále jsou i větší nároky na zápusťky (přesné vedení zápusťek, stejné uložení materiálu) jsou také zvýšené nároky na kovací agregát (ochrana proti přetížení, dostatečný prostor pro upínací prvky, nutnost použití vyhazovače).

## 2.3. Vliv kování v zápusťkách na strukturu a vlastnosti výkovku

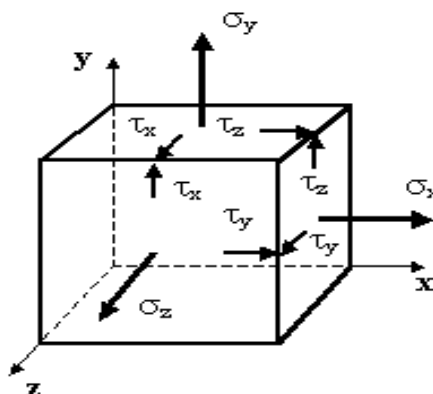
Hlavním cílem při kování je dosáhnout plastické deformace, kterou se mění tvar výkovku. Konečný výrobek by měl mít po dokončení tváření co nejlepší fyzikální a mechanické vlastnosti. Tyto vlastnosti nám ovlivňují především parametry, jako jsou tvařitelnost daného kovu, stav napjatosti, plastická deformace a deformační odpor.

### 2.3.1. Tvařitelnost kovových materiálů

Tvařitelnost je vlastnost materiálu tvářet se nevratně bez makroskopického porušení. Tvařitelnost je funkcí materiálu (chemického složení a struktury), teplotních a rychlostních podmínek kování, napětového stavu, historie napětí a deformace, geometrického faktoru a vnějšího prostředí. Všechny uvedené proměnné „Tvařitelnosti“ se ve všech tvářecích procesech, neuplatňují se stejnou intenzitou. Plasticita se vyhodnocuje na plastometrických strojích, a to speciálními plastometrickými metodami.

### 2.3.2. Stav napjatosti

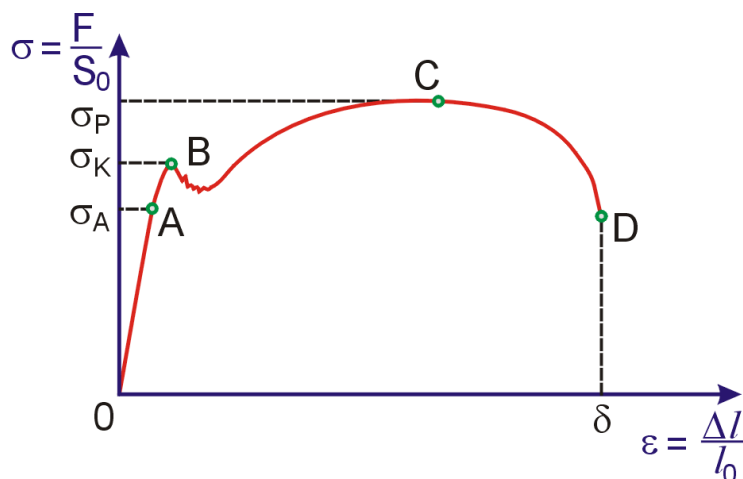
Tvařitelnost kovů je závislá i na stavu napjatosti v deformovaném tělese, který vyjadřuje mechanické podmínky plastické deformace. Tvařitelnost kovů není stejná pro všechny stavy napjatosti, ale vzrůstá s počtem tlakových napětí. Existuje proto například jednoosý, dvojosý nebo trojosý stav napjatosti. Deformační schopnost materiálu má těleso největší při působení trojosém tlaku. Na (Obr. 2.2) je znázorněn trojosý tahový stav napjatosti, pro představu trojosého tlaku musíme brát, že hlavní normálová napětí  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  a  $\sigma_z$  působí směrem dovnitř.



Obr. 2.2 Trojosý tahový stav napjatosti. [3]

### 2.3.3. Plastická deformace

Těleso, které je vystaveno působení vnější síly se může deformovat elasticky a neelasticky nebo plasticky (obr. 2.3). Při působení deformačních sil dochází ke změně tvaru krystalů (zrn) tak, aby byla zachována rovnováha mezi působícími vnějšími silami a meziatomovými silami. Deformace vede k posunutím, která je možno měřit.



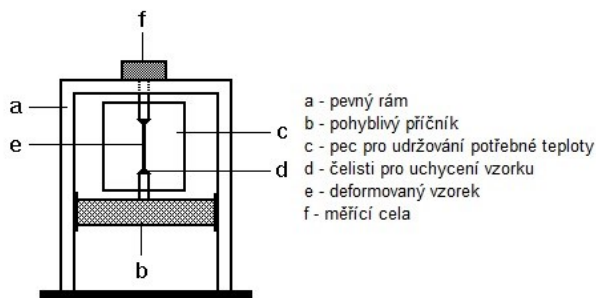
**Obr. 2.3** Graf tahové zkoušky. [4]

Vysvětlivky:  $\sigma_A$  - mez úměrnosti,  $\sigma_K$  - mez kluzu,  $\sigma_P$  - pevnost

Tvarová změna tělesa, k níž dochází během plastické deformace nezmizí poté, co na těleso přestanou působit deformační síly. Tento druh deformace má tedy trvalé následky na tvar tělesa. Velikost síly, způsobující určitou změnu tvaru (např. prodloužení), závisí na rozměrech tělesa. Z tohoto důvodu je výhodné sledovat velikost napětí (smluvního nebo skutečného).

Při zkoušce mechanických vlastností, např. tahovou zkouškou je výhodné volit vzorky jednoduchého geometrického tvaru, které namáháme jednoosým napětím. Nejčastěji používané tvary vzorků jsou válce nebo hranoly. Střední část vzorku je tvarována tak, aby na ni působilo homogenní napětí. Konce vzorku jsou uzpůsobeny pro uchycení do deformačního stroje. Plastická deformace se vyhodnocuje při tahové zkoušce, která je na (Obr. 2.4).

Při deformaci kovu dochází k významným mechanickým, fyzikálním a strukturním změnám, které jsou závislé na deformační teplotě, velikosti a rychlosti deformace. Rozlišujeme tváření za studena, kdy je tvářecí teplota menší než teplota rekrystalizace a tváření za tepla, kdy je teplota tváření větší než teplota rekrystalizace.



**Obr. 2.4** Schéma deformačního stroje pro tahovou zkoušku za tepla. [5]

### 2.3.4. Deformační odpor

Deformační odpor kovu je souhrn všech napětí, které překonává tvářecí síla v průběhu tváření. Deformační odpor  $\sigma_D$  je souhrn přirozeného deformačního odporu  $\sigma_P$ , který reprezentuje vnitřní pevnost materiálu a pasivních odporů, které se spolupodílejí při pohybu kovu v technologickém procesu [3].

$$\sigma_D = \sigma_P \cdot m = \sigma_P \cdot \left(1 + \frac{\mu}{3} \cdot \frac{D}{H}\right) \quad [MPa]$$

kde  $\mu$  je součinitel tření

D ... okamžitý průměr při pětování

H ... okamžitá výška při pětování

### Přirozený deformační odpor

Přirozený deformační odpor záleží hlavně na parametrech, jako jsou rychlost deformace, velikost deformace, teplota a mat.

$$\sigma_P = f(mat., \varepsilon, \dot{\varepsilon}, T) \quad [MPa]$$

### Velikost deformace

Velikost deformace se získá ze vztahu pro deformaci skutečnou a pro deformaci poměrnou.

### Skutečná deformace

$$\varphi = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_1}{l_0} \quad [-]$$

### Poměrná deformace

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \quad [-]$$

kde  $l_0$  je délka daného vzorku před deformací [mm]

$l_1$  je délka daného vzorku po deformaci [mm]

### Rychlost deformace

Rychlost deformace se dá vyjádřit matematickou formou pomocí derivace. A to tak, že zderivujeme deformaci v čitateli a ve jmenovateli zderivujeme čas.

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} \quad [s^{-1}]$$

kde  $\dot{\varepsilon}$  velikost deformace [ $s^{-1}$ ]

Hodnoty přirozených deformačních odporů se stanovují experimentálně s využitím základních mechanických zkoušek, především při jednoosém tlaku a tahu. Výsledkem zkoušky je záznam závislosti deformační síly na tvářecí dráze a údaje o změně geometrie vzorku. Z těchto údajů se matematicky stanovují křivky přirozených deformačních odporů, tj. závislost přirozeného deformačního odporu na velikosti deformace [3].

### 3. Tradiční technologický postup zápusťkového kování se zaměřením na vlastnosti výkovku a optimalizace tohoto postupu.

#### 3.1. Postup kování v zápusťkových dutinách



**Obr. 3.1** Postup zápusťkového kování. [6]

Při návrhu technologie výkovku vycházíme z jeho požadovaného tvaru, materiálu daného výkovku a z požadavků zákazníka na jeho výrobu. V první řadě dostaneme od zákazníka technickou specifikaci, která obvykle obsahuje požadavky, které musí výkovek a také jeho výroba splňovat. Z pravidla to jsou požadavky:

- Jakost kovaného materiálu (chemické složení, vlastnosti)
- Výkres součásti nebo výkres výkovku
- Požadovanou makrostrukturu a směr vláken
- Požadavky na velikost zrna
- Požadavky na mechanické zkoušky
- Kontrola zařízení a kvality

V další části je nutné navrhnout tvar výkovku. Při navrhování tvaru výkovku je důležité znát výkres součásti, jakost materiálu, zadané přesnosti výroby a zadaný tvářecí stroj. Výkres výkovku je základním dokumentem pro zjištění požadovaného tvaru vyráběné součásti a podle něj se také volí jednotlivé přídávky. Podle výkresu volíme parametry, jako jsou přídávky na obrábění, technologické přídávky, odchylky a tolerance rozměrů a také polohu dělicí roviny atd.

### **3.2. Přídávky na obrábění a hmotnost výkovku**

Nebylo by ekonomické obrábět všechny plochy výkovku, proto se obrábí pouze plochy, kde je požadována vysoká jakost povrchu, vysoká přesnost výkovku. Přídávky na obrábění se pro obvyklé provedení volí v závislosti na největším průměru, střední hodnotě šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu a největší výšce hotového výrobku. Pro určení velikosti přídávky je pro nás rozhodující s jakou přesností chceme daný výkovek vyrobit. Podle normy ČSN 42 9030 určíme velikost přídávky na obrábění.

#### **3.2.1. Technologické přídávky**

Technologickými přídávky se rozumí materiál navíc, který je potřebný, aby bylo možné daný tvar vyrobit zvolenou technologií. Do technologického přídávku patří přídávky na obrábění, zaoblení hran a přechodů, tloušťka dna a stěn výkovku a boční úkosy.



Přídavky na obrábění

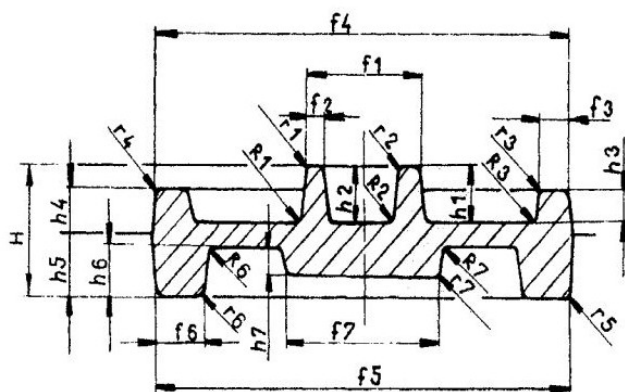
Abychom mohli správně zvolit přídavky, musíme znát přesnost provedení výkovku. To může být buď: přesné, velmi přesné nebo provedení dle dohody. Větší přesnost znamená menší přídavky na obrábění. Další faktor, který nám ovlivňuje velikost přídavku na obrábění je, tvařitelnost materiálu. Čím je materiál hůře tvařitelný, tím větší se volí přídavky. Přídavky na obrábění jsou obvykle stejné pro všechny rozměry výkovku a určují se podle největší výšky součásti ve směru kolmo k rázu a podle největší výšky výkovku to je ve směru rázu. Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu, je definován jako střední hodnota součtu největší šířky a délky součásti. V tabulce níže jsou uvedeny přídavky na obrábění ploch, pro obvyklé provedení a pro oceli se stupněm tvařitelnosti 1,2 a 3 (většina ocelí třídy 12 až 16). Obrábí-li se průměr, nebo nějaká jiná část po obvodu, hodnota přídavku se zdvojnásobuje.

**Tabulka 3.1** Přídavky na obrábění pro obvyklé provedení

Největší průměr, střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku					
		přes	25	40	63	100	160
		do 25	40	63	100	160	250
přes	do	Přídavky na obrábění ploch					
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0

Zaoblení hran a přechodů

Zaoblení hran a přechodů se provádí z toho důvodu, že ostré hrany a přechody mají za následek opotřebení dutiny zápusťky a proto se tyto hrany a přechody zaoblují, aby opotřebení bylo minimální a prodloužila se tak životnost zápusťky (Obr. 3.2). Podle normy ČSN 42 9030 se udává zaoblení hran a přechodů. Poloměry zaoblení jsou vnější (poloměr zaoblení hran  $r$ ), nebo vnitřní (poloměr zaoblení přechodů  $R$ ). Ke správnému zvolení zaoblení, můžeme použít (Tab. 3.2). Zaoblení se stanovuje poměrem výšky výkovku nebo hloubky vybrání  $h$  k šířce výkovku nebo vybrání  $f$ .



**Obr. 3.2** Zaoblení hran a přechodů. [6]

**Tabulka 3.2** Zaoblení hran  $r$  a přechodů  $R$  výkovku

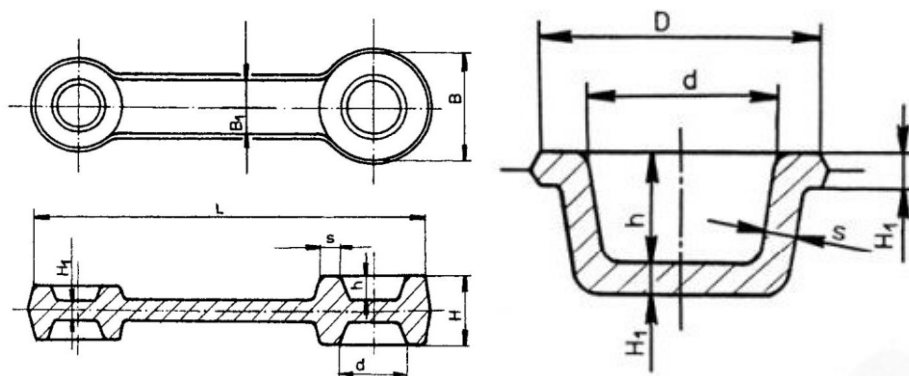
Výška (hloubka) $h$		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		$h/f \leq 2$		$2 < h/f \leq 4$		$h/f > 4$	
Přes	do	$r$	$R$	$r$	$R$	$r$	$R$
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25

#### Boční úkosy zápustkových výkovků

Tento typ úkosu se zavádí z důvodu snadnějšího vyjmutí výkovku ze zápustkové dutiny. Podle normy ČSN 42 9030 se volí úhly bočních úkosů, a také záleží na velikosti daného výkovku a na kovacím stroji, na který byl použit.

#### Minimální tloušťka dna a stěny

Minimální tloušťka dna a stěny se udává podle druhu zvoleného materiálu, ze kterého se výkovek vyrábí, a to z důvodu dobrého zatékání kovu dle tvarové složitosti a požadované přesnosti výkovku (Obr. 3.3). Minimální tloušťky dna a stěny se vztahují na obráběné i neobráběné plochy. K orientačnímu zvolení těchto parametrů nám slouží (Tab. 3.3)



**Obr. 3.3** Nejmenší tloušťka blány a stěny výkovku nerotačního tvaru. [6]

### 3.2.2. Tolerance a úchytky tvarů a rozměrů

Mezní úchytky a tolerance konečných rozměrů se udávají v závislosti na požadovaných přesnostech daného výkovku, z největších rozměrů ve směru kolmo k rázu. Norma ČSN 42 9030 nám udává maximální možné úchytky a tolerance. Do úchytek a tolerancí se zařazují například otřep prohnutí a přesazení. Stupeň přesnosti výkovku se udává podle začlenění do oborového číselníku dle tvarové složitosti výkovku podle normy ČSN 42 9002. Přesnost výroby zápusťky je ovlivněna tvarovou složitostí kované součásti. Při konstruování zápusťky je nutné brát zřetel na tepelnou roztažnost kovaného materiálu. Proto je nutné rozměry zápusťky zvětšit o hodnotu roztažnosti kovaného materiálu [5].

### 3.2.3. Dělicí rovina a její poloha

Je to rovina, kde je rozdělen tvářecí nástroj na dva díly, a to na horní část zápusťky, která je pohyblivá a spodní část, ta je pevně uchycena. Toto rozdělení je z důvodu, aby vyjmutí výkovku ze zápusťky bylo jednodušší. Dělicí rovina má být umístěna tak, aby co největší množství rozměru výkovku bylo uloženo kolmo na dělicí rovinu nebo, aby rovina souměrnosti výkovku byla stejná jako dělicí rovina. Nejjednodušší dělicí rovina je rovná u výkovku, kde jsou složitější tvary se dělicí rovina volí zakřivená nebo lomená v jednom nebo ve více směrech. Jako další rozeznáváme vnější a vnitřní dělicí plochu. Vnější dělicí plocha je rozhraní mezi horní a dolní polovinou zápusťky. Vnitřní dělicí plochu určujeme při kování tvarových výkovků, když se předkovají otvory s pozdějším děrováním. V této rovině se umísťuje vnitřní blána. Poloha této blány se stanovuje uprostřed výšky otvoru. Vnitřní blána může sloužit jako výronková drážka pro případ kování s vnitřním výronkem. Tloušťka vnitřní blány musí být větší, než je doporučená nejmenší tloušťka. Pro přibližné stanovení přesahu

výkovku a jako směrnice pro konstrukci výkovku je možné využít (Tab. 3.3). Kde rozměr D je maximální průměr výkovku (pro rotační výkovky), a rozměr B je největší šířka výkovku (pro podélný výkovek).

**Tabulka. 3.3** Nejmenší tloušťka dna, blány, disku  $H_1$  a stěny výkovku.

Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (D, B)		Největší výška výkovku H					
		přes	10	20	40	63	100
		do 10	25	40	63	100	160
přes	do	Nejmenší tloušťka dna, blány $H_1$ a stěny s					
	40	4	5	6	7	9	
40	63	5	5	6	7	9	11
63	100	5	6	7	9	11	13
100	160	6	7	9	11	13	15
160	250	8	9	11	13	15	17
250	400	10	13	15	17	20	25

### 3.2.4 Hmotnost výkovku

Hmotnost výkovku se stanovuje dvěma možnými způsoby. Stanoví se buď výpočtem, nebo vážením. Při výpočtu se vychází ze jmenovitých rozměrů výkovku a poloviny horní mezní úchyly u vnějších rozměrů a poloviny dolní mezní úchyly u vnitřních rozměrů a měrné hmotnosti příslušného materiálu.

Vstupním polotovarem bývá nejčastěji tyč, a to buď kruhového průřezu, nebo sochor (to je čtvercový tvar se zaoblenými rohy), kde velikost průřezu S je dána tabulkou (Tab. 3.4). Také lze použít výpočet, ten je ale pouze orientační, který je uveden níže.

$$a = 1,0375 \cdot \sqrt{S}, \text{ nebo } S = 0,9286 \cdot a^2$$

#### Stanovení hmotnosti polotovaru

$$G_o = (G_v + G_{vyr}) \cdot (1 + \delta/100)$$

Kde  $G_v$  je hmotnost výkovku

$G_{vyr}$  je hmotnost výronku (otřepu)

$\delta$  je procento opalu (0,5 až 3% podle způsobu a doby ohřevu)

**Tabulka 3.4** *Rozměry ocelových sochorů.*

a [mm]	b [mm]	r [mm]	S [mm <sup>2</sup> ]	Tolerance [mm]	a [mm]	b [mm]	R [mm]	S [mm <sup>2</sup> ]	Tolerance [mm]
40	48,2	8	1426	± 2,0	70	84,2	14	4552	± 2,0
42	50,8	8	1639	± 2,0	75	90,9	14	5226	± 2,5
44	52,8	9	1798	± 2,0	80	96,9	15	5946	± 2,5
46	55,5	9	1966	± 2,0	85	103,7	15	6712	± 2,5
48	57,5	10	2140	± 2,0	90	109,7	16	7526	± 2,5
50	60,2	10	2322	± 2,0	95	116,4	16	8384	± 3,0
52	62,1	11	2512	± 2,0	100	122,4	17	9290	± 3,0
54	64,8	11	2709	± 2,0	105	129,1	17	10242	± 3,0
56	67,5	11	2913	± 2,0	110	134,4	19	11243	± 3,0
58	69,3	12	3125	± 2,0	115	141,1	19	12386	± 3,0
60	72,2	12	3344	± 2,0	125	153,5	20,5	14512	± 3,0
62	74,2	13	3571	± 2,0	135	165,3	23	16931	± 4,0
65	78,2	13	3925	± 2,0	145	178,6	23	19532	± 4,0

Hmotnost výkovku se dále stanovuje dle výpočtu, kde je zapotřebí znát rozměry výronkové drážky s předpokládaným stupněm zaplnění nebo použití. Přibližný způsob výpočtu se provádí pomocí tabulky (Tab. 3.5).

**Tabulka. 3.5** *Volba poměru  $G_o / G_v$  jako funkce tvarové složitosti a hmotnosti.*

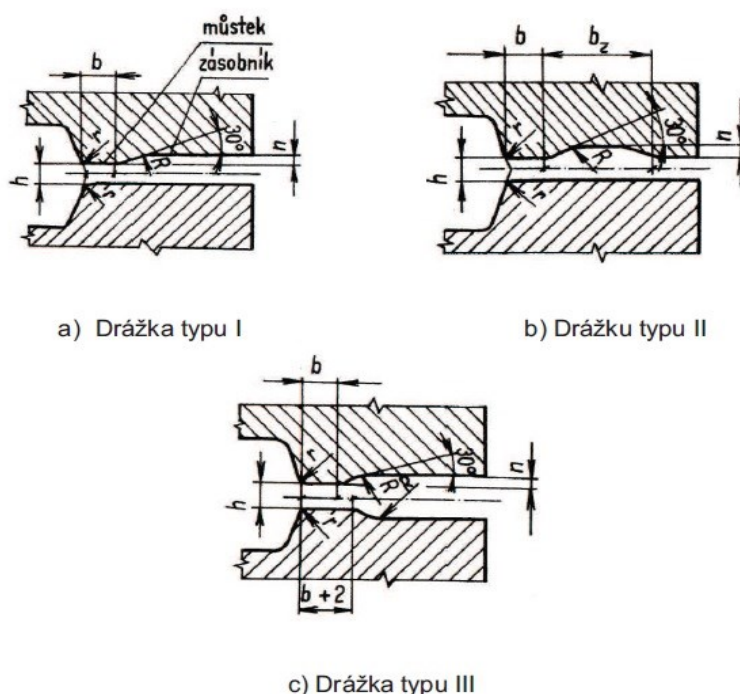
$G_v$ [kg]	1,0	2,5	4,0	6,3	20	100
tvarová 1	1,1	1,08	1,07	1,06	1,05	1,03
skupina 2	1,25	1,19	1,17	1,15	1,08	1,06
3	1,5	1,46	1,41	1,35	1,20	---

### 3.3. Výronková drážka

Tato drážka se vyrábí kolem celé dutiny pro dokončení a je umístěna v dělicí rovině. Výronková drážka nám ovlivňuje, do jaké míry je kovem zaplněna zápusťka. Její funkce spočívá v přetečení přebytečného kovu do výronku a také slouží jako regulátor tlaku v zápusťce. Je tvořena ze dvou částí, a to z můstku a zásobníku. Můstek, který je regulátorem tlaku, vzniká v oblasti zúžení výronkové drážky, další jeho funkcí je pomáhat k dokonalému zaplnění kovu v zápusťce, a také jeho nejúžší místo pomáhá k snadnějšímu odstřižení výronku

po dokování výkovku. Na tvar výronkové drážky má největší vliv požadovaná tvarová složitost výkovku, vzdálenost kraje zápusťky od dutiny a také přebytečný kov. Tvary výronkových drážek se určují podle normy ČSN 22 8306. U kování na lisech je výronková drážka otevřená, protože na sebe nesmí dolehnout horní a spodní díl zápusťky. Při kování na lisech se nejčastěji využívají výronky, které máme znázorněny na obrázku (Obr. 3.4).

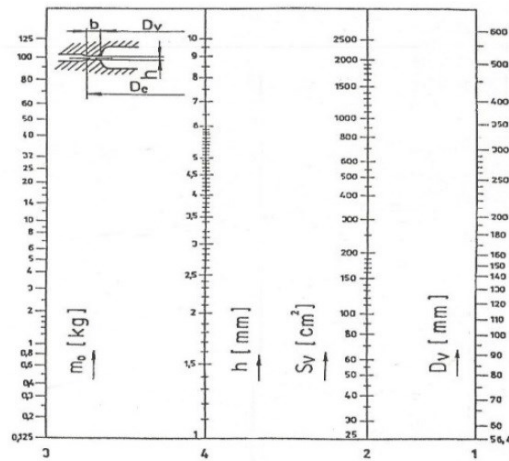
Drážka typu I se používá se zásobníkem, který je otevřený, další typ drážky II je použit pro zásobník s uzavřeným zásobníkem. Třetí typ drážky III je využíván tam, kde dochází k velkému přebytku materiálu.



**Obr. 3.4** Typy výronkových drážek. [7].

#### Stanovení výronkové drážky

Důležitým parametrem pro stanovení drážky je výška můstku a další parametry, které se stanovují buď pomocí normy ČSN 22 8306 nebo podle nomogramu (Obr. 3.5), kde je nezbytné znát průměr výkovku bez výronku, plochu výkovku bez výronkové drážky a hmotnost výkovku.



**Obr. 3.5** Nomogram k zjištění můstku a jeho velikosti. [8]

#### Výpočet hloubky zásobníku:

$$n = 0,4h + 2 \text{ [mm]}$$

kde  $n$  je hloubka zásobníku [mm]

$h$  je výška můstku [mm]

#### Výpočet šířky můstku:

$$b = 2 \cdot h \text{ [mm]}$$

kde  $b$  je šířka výronkové drážky [mm]

$h$  je výška můstku [mm]

#### Výpočet průmětu plochy výkovku s můstkem:

$$D_c = D_v + 2 \cdot b \text{ [mm]}$$

kde  $D_v$  je největší průměr výkovku [mm]

$b$  je šířka můstku [mm]

### Přechodový poměr

$$r = \frac{\sqrt{S_D}}{200} + 0,04H_D \text{ [mm]}$$

kde  $S_d$  je průmět plochy výkovku do dělicí roviny [mm<sup>2</sup>]

$H_d$  je hloubka dutiny zápusťky [mm]

### Objem výronku

$$V_{výr} = o \cdot \left[ b \cdot h + \left( n + \frac{h}{2} \right) \cdot B \right] \text{ [mm]}$$

kde  $\Theta$  je obvod výkovku [mm]

$b$  je šířka výronkové drážky [mm]

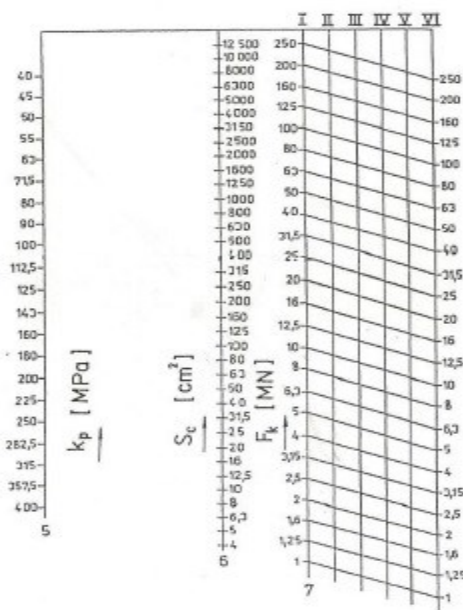
$h$  je výška výronkové drážky [mm]

$n$  je hloubka zásobníku [mm]

$B$  je šířka otřepu [mm]

Nyní určíme potřebnou kovací sílu za použití nomogramu. Pro stanovení kovací síly existuje mnoho způsobů např. podle Tomlenova, Brjuchanova nebo podle nomogramu. Já jsem se v mé diplomové práci zabýval stanovením kovací síly podle nomogramu (obr. 3.6). Abychom správně určili kovací sílu, musíme znát velikost průmětu výkovku s můstkem a hodnotu deformačního odporu pro kovaný materiál.





Obr. 3.6 Nomogram pro určení kovací síly. [8]

### 3.4. Dělení výchozího materiálu

Materiál můžeme třemi způsoby:

- a) Řezáním
- b) Stříháním
- c) Lámáním

#### 3.4.1. Řezání materiálu

K řezání se používají pily všech možných konstrukcí. Nejčastěji se využívají pily rámové, pásové nebo kotoučové. Hlavní výhody dělení materiálu řezáním jsou minimální rozměrové nepřesnosti a vysoká jakost řezné plochy. Naopak nevýhodou tohoto způsobu je, že dochází ke ztrátě materiálu, a to šířkou řezného nástroje, a tím vzniká tzv. prořez. Jako hlavní nevýhoda malá produktivita a velká spotřeba řezných nástrojů.

#### 3.4.2. Stříhání materiálu

Nůžky provedou odstřížení materiálu, mohou to být i výstředníkové lisy nebo klikové lisy. Lis je omezen tloušťkou ocelové tyče a nejkratší délkou stříhaného materiálu vzhledem k tloušťce. Různé typy materiálu jsou stříhány buď za studena, nebo za tepla. Tento způsob

dělení materiálu je z ekonomického a produktivního hlediska nejlepší, protože nám při stříhu nevzniká žádný odpad. Jedinou nevýhodou, kterou má tento způsob je, že střížná plocha má horší jakost povrchu.

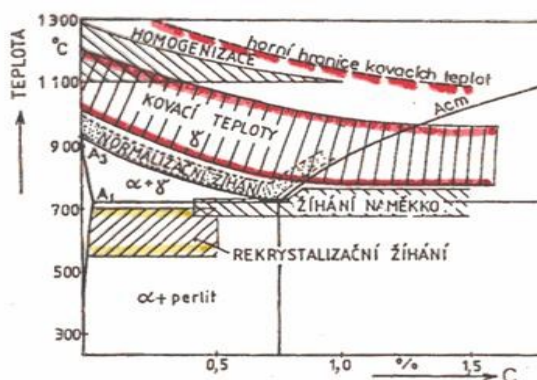
### 3.4.3. Lámání materiálu

Dělení materiálu touto metodou se provádí lámáním za studena na výstředníkových, hydraulických nebo klikových lisech. Takto můžeme dělit materiály s pevností v tahu vyšší než 600 MPa, materiály s menší pevností není vhodné dělit, neboť může docházet pouze k ohybu. Lámání je méně energeticky náročné než stříhání. Další výhodou je vysoká produktivita tohoto způsobu dělení. Nevýhodou je, že při lámání musí být lámané těleso opatřeno řezem, ve kterém dojde k lomu a také, že lomová plocha není příliš rovná.

## 3.5. Ohřev materiálu

### 3.5.1. Kovací teplota

Pro požadovanou tvařitelnost kovu je důležité volit správné kovací teploty. Nejčastěji se kove při nejvyšších možných kovacích teplotách, a to hlavně proto, aby se materiál dobře tvářel. Dále nám vyšší kovací teplota zajistí, snížení opotřebení zápusťek a zlepšení zatékání kovu. Hodnotu kovací teploty zpravidla nejvíce ovlivňuje chemické složení kovu. Při volbě kovací teploty je důležité znát také historii materiálu, který koveme (např. zda byl materiál válcován a podobně). K volbě správné tvářecí teploty lze použít diagram  $Fe_3C$ , který vidíme na (Obr. 3.7). Pokud nedodržíme správnou kovací teplotu, je velice pravděpodobné, že dojde ke vzniku vad.



Obr. 3.7 Interval kovacích teplot. [9]

### **3.5.2. Doba ohřevu**

Ohřev materiálu by měl být takový, aby se co nejlevněji zajistilo dosažení tvářecí teploty, co nejmenšího tepelného pnutí, rovnoměrného prohřátí. Největší vliv na dobu ohřevu má tepelná vodivost, tloušťka polotovaru, ale také její rychlost ohřevu. Rychlost ohřevu je nejvíce závislá na tom, jaký typ pece používáme. Pro ohřev materiálu se používají:

- a) Karuselové pece
- b) Talířové pece
- c) Strkáčové pece
- d) Komorové pece
- e) Štěrbínové pece
- f) Indukční ohřev

### **3.6. Zápusťkové kování**

Vysoká kvalita povrchu a přesnosti požadovaných rozměrů na hotové součásti nelze zápusťkovým kovááním dosáhnout, ale můžeme se jim alespoň přiblížit. Abychom dosáhli vysokých kvalit a přesností, je potřeba při návrhu výroby a výkovku dané součásti vybírat hodnoty s označením pro přesné nebo velmi přesné kování. Avšak ani u tohoto způsobu výroby se nelze vyhnout strojírenskému obrábění minimálně na některých funkčních plochách součásti. Zápusťkovým kovááním je dosaženo lepší hospodárnosti využití kovového odpadu, kterého se produkuje méně než u výrobků vyráběných strojírenským obráběním. Z tohoto důvodu je použití této technologie využíváno u velkých sérií. Jednou z největších výhod kování v zápusťkách je, že výkovek získává vláknitou strukturu. Tato vláknitá struktura nám kopíruje tvar kované součásti a zlepšuje nám mechanické vlastnosti.

#### **3.6.1. Stroje, na kterých se zápusťkové výkovky kovají**

V praxi se používají nejčastěji dva druhy kovacíh strojů a to jsou:

- a) Lisy: hydraulické lisy, svislé kovací lisy, vřetenové kovací lisy
- b) Buchary

V našem případě nás zajímá svislý kovací lis, protože ten samý používá také firma Ostroj a.s., a to speciálně svislý kovací lis typu LZT 2500 – P.

### **Svislý kovací lis**

Tento kovací lis pracuje za pomoci tlaku, který se vytváří pomocí beranu, ten je rozpohybován díky klikovému mechanismu. Zdvih pracovního beranu je pořád stejný. Horní i dolní zápustka na sebe při kování úplně nedoléhají a je mezi nimi vždy mezera. Kování daného výrobku je provedeno jedním nebo více zdvihy. Rychlost pohybu beranu je u tohoto stroje  $0,3 - 0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Můžeme zde volit menší úkosal, protože vyjmutí výkovku ze zápustkové dutiny je prováděno pomocí vyhazovače. Na svislých kovacích lisech je možno vykovat výkovky všech možných tvarů.

### **Detailnější popis lisu LZT 2500 – P**

Technologické určení: Používá se pro přesné zápustkové kování a kalibrování výkovků za tepla v hromadné a sériové výrobě strojních součástí, například ve výrobě automobilů, traktorů, letadel, vagónů a zemědělských strojů. Je zvlášť vhodný pro zařazení do automatizovaných kovacích linek.

Konstrukční provedení: Svislý, s příčně uloženým hřídelem a přestavitelným beranem. Stojan – z lité oceli má boční průchod a pevný stůl. Beran – z lité oceli skříňového tvaru, s vodicími plochami prodlouženými nad výstředníkový hřídel. Výškově se přestavuje výstředníkovým čepem v beranu, které umožňuje též uvolnění beranu při jeho zaseknutí. Plynulý chod beranu zajišťuje pneumatický vyhazovač. Horní vyhazovač je ovládán beranem, spodní soustavou pák od ojnice, oba vyhazovače mají tři vyhazovací trny.

Uspořádání pohonu: elektromotor, klínové řemeny, setrvačnik, ozubená předloha s vestavěnou spojkou v kole na výstředníkové hřídeli, ojnice – beran. Hmota spojky je nadlehčována třetím odpruženým valivým ložiskem. Spojka a brzda – třecí lamelová, ovládaná stlačeným vzduchem. Brzda je chlazená vodou, intenzitu chlazení lze nastavit.

Spouštění a ovládání: elektropneumatické – tlačítky nebo šlapkou elektrického nožního spouštěče. Chod beranu lze nastavit na jednotlivé zdvihy a pro seřizování nástrojů po přítržích (tipování).

Mazání: tukové, ústřední, samočinné – tlakovým mazacím přístrojem se samostatným elektromotorem a automatickou kontrolou a signalizací množství maziva v zásobníku.

Pojistná zařízení: tepelná ochrana hlavních ložisek, vzduchová pojistka, tlakový snímač, tachodynamo.

Příslušenství: horní a spodní vyhazovač, upínač zápusťek, zápusťkové vložky, zvedák zápusťkových vložek, brzda setrvačníku.

### 3.6.2. Vyhazovače pro vyhazování výkovku se zápusťky

Vyhazovače nám slouží ke snadnému vyjmutí výkovku ze zápusťky. Typ vyhazovače volíme podle toho, jaká je hloubka dutiny, tření, členitost výkovku, úkosu, mazání zápusťky odstraňování okují a podle typu použitého kovacího lisu. Zvolení vyhovujícího typu vyhazovače nám zvyšuje životnost zápusťky. Vyhazovače dělíme na prstencové a kolíkové.

#### Prstencové vyhazovače

Tento typ vyhazovačů se aplikuje tam, kde mají zápusťky ve středu výkovku zahlobení a zpravidla je v sestavě zařazen také předkovací trn. Podle normy ČSN 22 8306 se stanovují doporučené rozměry trnu a vyhazovače. Prstencový vyhazovač je znázorněn na obrázku (Obr. 3.7).

#### Průměr předkovacího trnu

$$\frac{d_{pt}^2}{D_{pt}^2} \leq 0,85$$

kde  $d_{pt}$  je průměr otvoru pro předkovací trn [mm]

$D_{pt}$  je průměr dosedací části předkovacího trnu [mm]

### Průměr prstence

$$D_p \geq d_p + 5 \text{ [mm]}$$

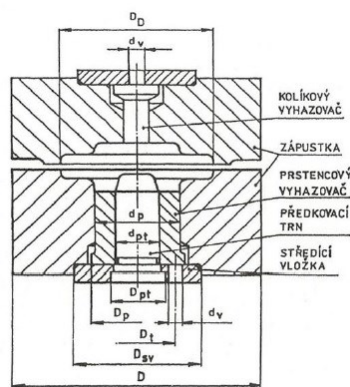
$$D_p \geq D_t + D_v + 5 \text{ [mm]}$$

kde  $D_p$  je průměr dosedací plochy prstencového vyhazovače [mm]

$d_p$  je průměr otvoru pro prstencový vyhazovač [mm]

$D_t$  je průměr otvorů pro vyrážecí kolík upínače zápustek [mm]

$d_v$  je průměr otvoru pro vyrážecí kolík [mm]



**Obr. 3.7** Schéma prstencového vyhazovače. [8]

### **Kolíkové vyhazovače**

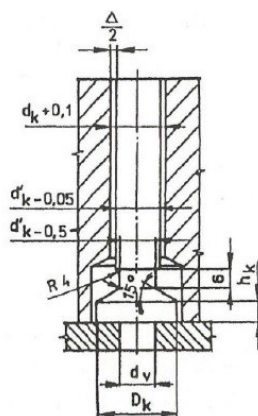
Kolíkové vyhazovače se používají jako středové, mimostředové nebo umístěné v ploše výronkové drážky a působí buď na blánu, na tvar nebo na výronek. Vliv na umístění tohoto vyhazovače mají zejména rozměry výkovku a také jeho tvar.

### Průměr hlavy (paty) kolíkového vyhazovače

$$D_k = \sqrt{d_k^2 + d_v} \text{ [mm]}$$

kde  $d_k^2$  je průměr otvoru pro vyhazovací kolík [mm]

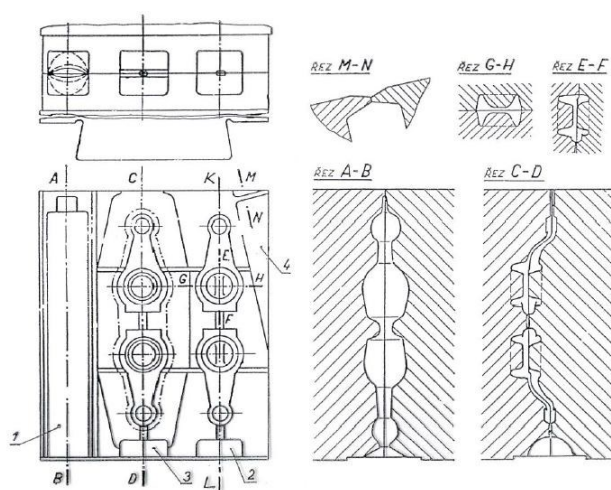
$d_v$  je průměr otvoru pro vyrážecí kolík [mm]



**Obr. 3.8** Kolíkový vyhazovač. [8]

### 3.6.3. Předkovací dutina

Zvolení předkovací dutiny se provádí za účelem, aby dostal předkovek přibližný tvar dokončovací dutiny, a v ní je následně dokován. Další důležitý důvod zavedení této předkovací dutiny je kvůli snížení opotřebení dokončovací dutiny a u výkoveků složitých tvarů má usnadnit tváření materiálu a zaplňování dutiny kovem, zejména tam kde jsou obtížné přechody ostré hrany nebo úzká žebra. Pro lepší a snadnější tváření mají být u předkovací dutiny zvoleny větší úkosity a zaoblení hran. Tvar předkovku je vyšší a užší než hotový výkovek a to proto, že zakládání předkovku do dokončovací dutiny je potom snazší. Předkovek má mít o 3 – 4% větší objem, z důvodu snadného zaplnění dokončovací dutiny. Pro představu je na (Obr. 3.9) znázorněna postupová zápusťka, která obsahuje jak předkovací dutinu tak dokončovací.



Příklad postupové zápusťky  
1) rozdělovací dutina; 2) předkovací dutina; 3) dokončovací dutina s výronkovou drážkou

**Obr. 3.9** Postupová zápusťka. [10]

### 3.6.4. Dokončovací dutina zápustky

Ke zkonstruování dokončovací dutiny se vychází z výkresu výkovku. Dutina má již tvar finálního výrobku, který je zvětšen o hodnoty smrštění daného kovu, tato dutina je již znázorněná v (Obr. 3.9). Příklady hodnot smrštění jsou uvedeny v (Tab. 3.6).

**Tabulka 3.6** *Tabulka hodnot smrštění.*

<b>Materiál</b>	<b>Smrštění v %</b>
Běžné oceli	1,0 – 1,3
Ložiskové oceli	1,5
Austenitické oceli	1,5 – 2,0

### 3.6.5. Materiály zápustek

Zvolený materiál zápustky je velmi důležitý, protože jsou při kování velmi namáhány mechanicky i tepelně. Při volbě materiálu zápustky je důležité znát tvar požadovaného výkovku, způsob kování a také kolik by měla daná zápustka vyrobit kusů. Z toho vyplývá, že když budeme chtít vyrábět velké množství kusů musí být i zápustka vyrobena z kvalitnějšího materiálu, a tím zvýšit životnost zápustky. Na vybraný materiál jsou kladeny vysoké požadavky především na vysokou tvrdost, houževnatost, mez kluzu, tažnost, vysokou pevnost za tepla, necitlivost proti kolísání teploty, dobrou obrobitelnost a vysokou odolnost proti opotřebení otěrem. Další způsob jak zlepšit vlastnosti zápustek je úprava zápustek tepelným zpracováním. Oceli, které se používají k výrobě zápustek jsou uvedeny v (Tab. 3.7).



**Tabulka. 3.7** *Oceli používané k výrobě zápusťvek.*

Značka oceli dle ČSN (dle ČSN EN)	Použití oceli se zřetelem k			
	velikosti zápusťky	namáhání zápusťky	druhu kovacího stroje	materiálu výkovku
19 552 (X38CrMoV5-1)	malé zápusťky o tloušťce do 200 mm	vysoce tepelně namáhané nástroje	buchary, vřetenové a kovací lisy	nelegované, nizkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 642 (35NiCrMo16)	malé, střední a velké zápusťky	středně tepelně namáhané nástroje s velkou houževnatostí	hlavně buchary, ale i vřetenové a kovací lisy	nelegované, nizkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 662 (54NiCrMoV6)	střední a velké zápusťky	středně tepelně namáhané nástroje s velkou houževnatostí	hlavně buchary	nelegované, nizkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 663 (56NiCrMoV7)	malé, střední a velké zápusťky	středně tepelně namáhané nástroje s velkou houževnatostí	buchary, vřetenové a kovací lisy	nelegované, nizkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 720 (X30WCrV5-3)	malé zápusťky o tloušťce do 200 mm	vysoce tepelně namáhané dosti houževnaté nástroje	všechny druhy lisů a buchary	všechny druhy ocelí, slitiny mědi a lehkých kovů
19 721 (X30WCrV9-3)	malé zápusťky o tloušťce do 200 mm	vysoce tepelně namáhané méně houževnaté nástroje	všechny druhy lisů	všechny druhy ocelí, slitiny mědi a lehkých kovů
19 740 (X30WCrV4-1)	malé zápusťky o tloušťce do 200 mm	vysoce tepelně namáhané dosti houževnaté nástroje	všechny druhy lisů	nelegované, nizkolegované oceli, slitiny lehkých kovů

### 3.6.6. Předehřev zápusťvek

Předehřev se provádí, aby nedocházelo k praskání zápusťvek. Další význam předehřevu je ten, že se snižuje teplotní gradient mezi povrchem dutiny a jádrem [5]. Snižují se i tepelná pnutí a také se při styku výkovku se zápusťkou zmenšuje přestup tepla, resp. se zpomaluje ochlazování výkovku [5]. Než dochází k samotnému kování, musíme tedy zápusťku předehřát a to na teplotu 200 – 300 °C, tento ohřev nám zvyšuje houževnatost. Ohřev na teplotu vyšší než je 300 °C již nemá důvod a naopak, je to ne hospodárné a snižuje nám houževnatost výkovku.

### 3.6.7. Mazání zápusťvek

Nanášení maziva na dutinu zápusťky se provádí, aby se snížilo tření mezi kovem a dutinou zápusťky při kování. Dále se potom mazivo používá ke snížení otěru zápusťky, snížení deformačního odporu, síly, práce, a aby se výkovky lépe vytahovaly po vykování.

Proto si musí mazivo udržovat své mazací vlastnosti i za vysokých tlaků a teplot, kterých se dosahuje při kování. Maziva se dělí na:

- a) Tuhá maziva – zde patří například grafit, který je v praxi nejpoužívanější.
- b) Kapalná maziva – řadí se zde oleje na syntetické nebo minerální bázi.
- c) Konzistentní maziva – mazání se provádí mýdly a tuky, ale nehodí se pro mazání dutiny zápusťky, protože se provádí ručně.
- d) Piliny – výkovek je uvolněn plyny a vodní parou, vzniklých při spálení pilin v dutině.
- e) Soli – použití pro vytvoření izolační vrstvy, aby se zabránilo k přilnutí okují.
- f) Sklo – sklo se nanáší ve formě vaty nebo fólie. Během ohřevu se odpaří nosič a vytvoří se vrstva, která zabraňuje vzniku okují.

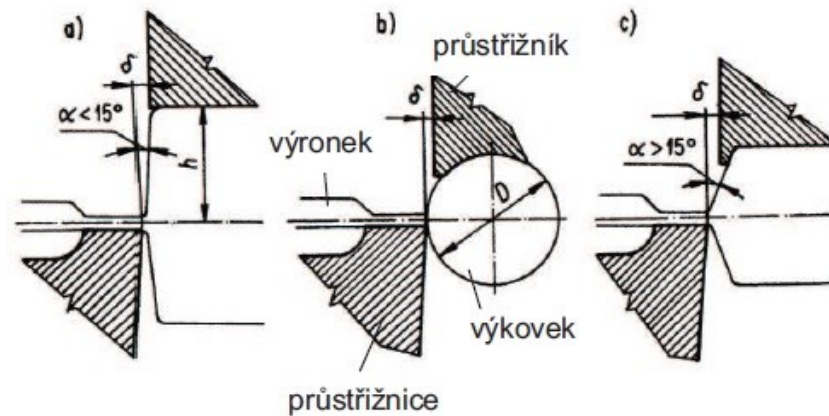
### **3.6.8. Oprava zápusťek vložkováním**

Jakmile dojde k takové deformaci dutiny zápusťky, že překročí mezní tolerance, musí být zápusťka obnovena a to buď částečně, nebo úplně. K částečné opravě zápusťkové dutiny se používá vložkování, tímto způsobem se obnoví tvar dutiny zápusťky, a to se provádí hlavně za účelem úspory zápusťkového materiálu. Úplná obnova zápusťky je daleko nákladnější, protože dochází k tvorbě nové zápusťky.

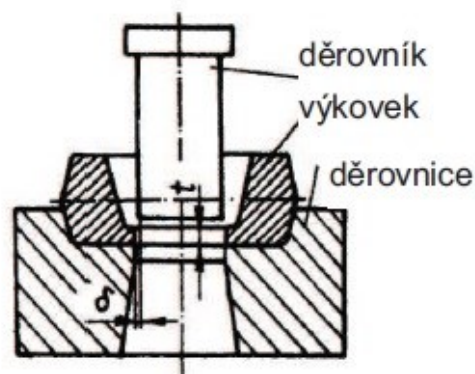
## **3.7. Dokončení výroby výkovku**

### **3.7.1. Odstrížení a děrování výkovku**

Po dokování výkovku se provádí odstranění výronku a to odstrížením. Když je třeba odstranit vnitřní blánu tak se používá děrování. To se provádí na ostříhovacích lisech, ty jsou součástí kovací linky. U výkovku, které obsahují více než 0,5 % uhlíku se provádí odstraňování výronku za tepla, u ostatních materiálů se výronek ostříhuje za studena. Na (Obr. 3.10) je znázorněno ostříhování výronku. K odstranění vnitřní blanky slouží děrovadlo, které je na obrázku (Obr. 3.11).



**Obr. 3.10** Ostřihování výronku. [6]



**Obr. 3.11** Dřevadlo k odstranění středové blány. [6]

### 3.7.2. Rovnání výkovku

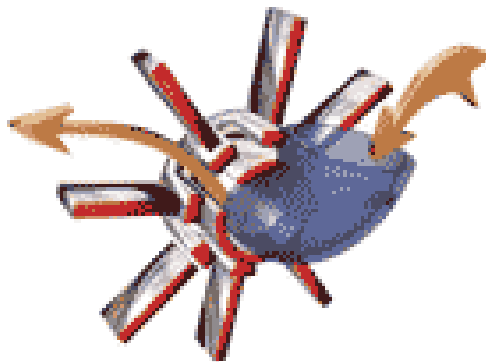
Rovnání se provádí po dokování výkovku. Rovnání se děje jak za tepla, tak za studena, záleží na tom, zda byl výkovek tepelně zpracován. Výkovek po tepelném zpracování se rovná za studena, kdežto výkovek, jehož zakřivení vzniklo ostřihováním nebo kováním se rovná za tepla. Maximální hodnota zakřivení se určuje tolerancemi, dle výkresu. Rovnání za tepla se provádí v dokončovací dutině na ostřihovacích lisech v rovnacích nástrojích. Za studena rovnané výkovky se rovnají v rovnacích zápusťkách.

### 3.7.3. Kalibrování výkovku

Kalibrování se provádí po kovací procesy a touto metodou se dosahuje konečná přesnost, hmotnost a drsnost povrchu [8]. Kalibrování se provádí jak za studena, tak i za tepla. Během kalibrování může dojít ke vzniku malého výronku, ten se posléze odstřihne za studena, protože jinak může dojít k zakřivení výkovku. Za studena prováděné kalibrování se děje na razících lisech a je přesnější. Dále můžeme rozdělit kalibrování na objemové, plošné a kombinované. Sílu potřebnou ke kalibrování se získat výpočtem, ke kterému je zapotřebí znát velikost kalibrované plochy a měrný tlak. Při kalibraci za tepla zpravidla snižujeme kalibrovací sílu zhruba o 50% [8].

### 3.7.4. Čištění výkovku

Čištění výkovku se provádí z pravidla k odstranění okují po dokování, které nám zjednoduší obrábění. K odstraňování okují se používá jak mechanických způsobů, např. tryskání abrazivního materiálu na povrch výkovku nebo se používá odstranění okují chemickou cestou, a to namáčením výkovku v roztocích kyselin. Nejčastějším použitím odstranění okují mechanicky je použití metací kola, které využívá odstředivé síly k vymrštění abrazivního materiálu na povrch výkovku a je znázorněno na (Obr. 3. 12.).



**Obr. 3.12** Metací kolo k odstranění okují. [11]

### 3.7.5. Tepelné zpracování výkovku

Tepelné zpracování po dokování se provádí z důvodu získání požadované struktury, a tím i požadovaných mechanických vlastností. Dále za účelem získání dobré obrobiteľnosti a k zabránění vzniku velkých vnitřních pnutí. Nejpoužívanější tepelné zpracování po kování bývá: žihání k odstranění vnitřního pnutí, normalizační žihání, žihání na měkko, nebo zušlechťování.

### **Žihání ke snížení vnitřního pnutí**

Jak už je z názvu patrné, toto žihání se používá ke snížení vnitřního pnutí, která se ve výkovku nahromadila při, rovnání a ochlazování. Postupujeme tak, že nejprve ohřejeme výkovek a teplotu 450 až 650 °C, pote následuje výdrž na této teplotě, dále ochlazení na teplotu 200 °C v peci a v posledním kroku ochlazování na vzduchu.

### **Normalizační žihání**

Žihání normalizační se zpravidla provádí u některých ocelí (uhlíkových a nízkolegovaných) po kování, kdy lze předpokládat různorodost struktury zejména u výkovků složitějších tvarů vlivem různého stupně prokování nebo vlivem různé rychlosti ochlazování jednotlivých míst od povrchu ke středu výkovku. Výrobky se při normalizačním žihání ohřívají na teplotu přeměny  $A_{c3}$  nebo  $A_{c1,2}$  a po jejím dosažení v celém průřezu se ochlazují na vzduchu. Získá se struktura s rovnoměrně rozloženými karbidy, která je jemnozrnná a homogenní.

### **Žihání na měkko**

Žihání na měkko se provádí z důvodu zlepšení obrobiteľnosti materiálu. Nejprve se výkovek zahřeje na teplotu 650 – 720 °C, následuje výdrž na této žihací teplotě, a to až 4 hodiny. Po zahřátí a výdrži na žihací teplotě se provádí pozvolné ochlazování v peci.

### **Zušlechťování**

Zušlechťování se skládá ze dvou operací, a to kalení a popouštění. Kalení se provádí zahřátím materiálu na kalící teplotu, to znamená nad teplotu přeměny. Pote následuje ochlazení buď do ochlazovacího média (olej, voda) nebo na vzduchu. Po zakalení se musí provést popouštění, zakalený výkovek zahřejeme na popouštěcí teplotu (ta je pro každý materiál odlišná) poté následuje výdrž na této teplotě po dobu 0,5 – 2 hodiny. A poslední operace je vytažení výkovku z pece a ochlazování na vzduchu.

### 3.8. Optimalizace technologického postupu

#### 3.8.1. Materiál výkovku

Značka oceli podle ČSN EN: 10083 – 2

Značka oceli podle ČSN: 12050

Chemické složení oceli 12050 v hm %

**Tabulka 3.8** Chemické složení oceli C45

Ocel C45								
C	Si	<u>Mn</u>	P (max)	S (max)	<u>Cr</u> (max)	<u>Mo</u> (max)	Ni (max)	<u>Cr+Mo+Ni</u> (max)
0,42 - 0,50	0,40	0,50 – 0,80	0,045	0,045	0,40	0,10	0,40	0,63

#### 3.8.2. Způsob výroby tažného zařízení

Zkoumané tažné zařízení se vyrábí klasickým zápusťkovým kovááním v zápusťce o dvou dutinách. Materiál, ze kterého se tažné zařízení vyrábí je ocel s označením C45, tento materiál byl zadán odběratelem výkovků.

Postup spočívá nejprve v ohřátí zápusťky na teplotu minimálně 200°C poté zahřátí polotovaru na kovací teplotu, která je 1180°C - 1260 °C. V dalším kroku dochází k očištění nástroje, poté následuje ohnutí polotovaru, který je ohřátý na kovací teplotu, vložení do předkovací dutiny a po předkování v první dutině následně postupuje materiál do dokončovací dutiny zápusťky, kde dostane výkovek už konečné požadované rozměry. Kování probíhá na svislém kovacím lisu typu LKT 2500 – P. V dalším kroku musí dojít k odstranění výronku, a to ostřížením.



**Obr. 3.13.** *Fotografie dokončovací dutiny zápusťky. [1]*

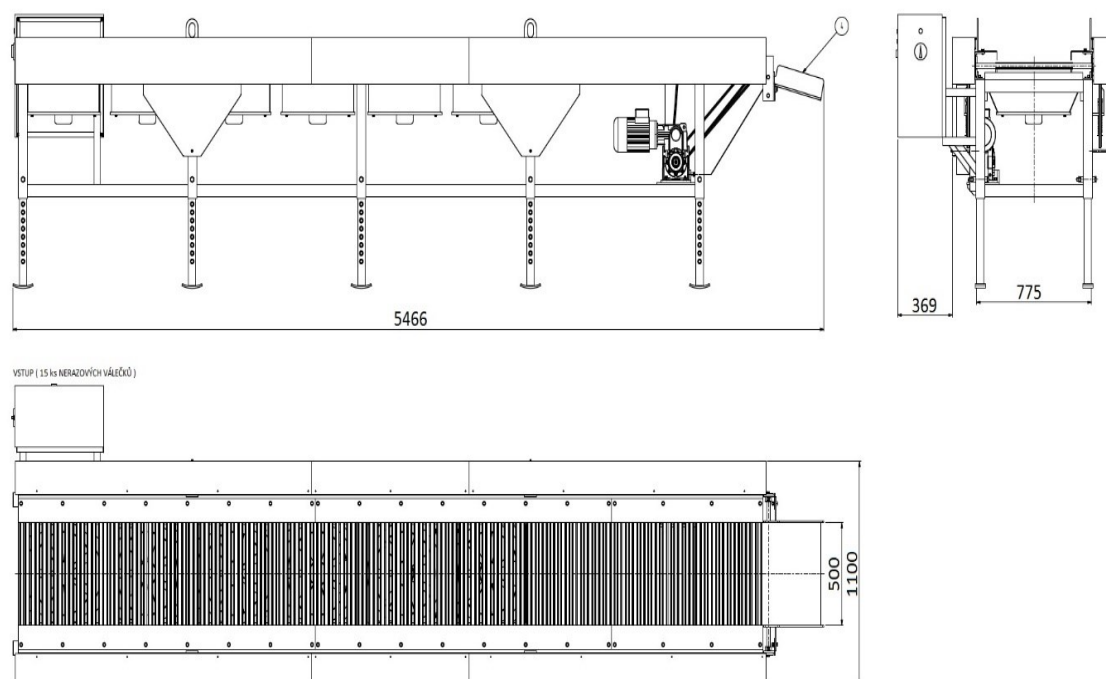
Po dokování následuje tepelné zpracování, které nám zajistí dosažení požadovaných mechanických vlastností. Doposud se jako tepelná úprava výkovků po dokování provádělo normalizační žíhání, ale z důvodů snížení nákladů se přechází k řízenému ochlazování z dokovací teploty metodou BY. Úspora nákladů je hlavně z důvodu úspory energie na ohřev výkovků pro tepelné zpracování. Přivedení vykováných kusů k žíhací teplotě a poté dlouhodobá výdrž na této teplotě je nákladná. Proto se zavádí do výroby jako tepelné zpracování řízené ochlazování.

Tato metoda využívá teplotu, která ve výkovku zůstane po dokování, dále následuje položení vykováných dílů na dopravník, na kterém výkovky chladnou, tento dopravník je znázorněn na (Obr. 3.14.). Ochlazování je podporováno ventilátory, které jsou zabudovány na rámu ze spodu dopravníku, to je zřetelné na (Obr. 3. 15.), tyto ventilátory nám vhánějí na výkovky vzduch a urychlují ochlazování. Tento postup má zajistit dosažení požadovaných mechanických vlastností výkovků.





**Obr. 3.14.** *Dopravník, na kterém chladnou výkovky. [12]*



**Obr. 3.15.** *Schéma ochlazovacího dopravníku. [12]*



### Popis řízeného ochlazování

Řízené ochlazování jako součást termomechanického zpracování je jednou z možností, kterým lze dosáhnout výrazných nákladových úspor při výrobě výkovků. Většinou se jedná o řízené ochlazování výkovků z dokovací teploty, které umožňuje nahradit konvenční technologii zušlechťování. V tomto případě lze dosáhnout stejných nebo dokonce lepších mechanických vlastností výkovku při výrazných energetických úsporách a kratších výrobních časech [10]. Na výkovech po řízeném ochlazování i po normalizačním říhání byla provedena zkouška tahem a byly stanoveny hodnoty tvrdosti.

#### 4. Experimentální část

V experimentální části jsem se zabýval stanovením struktury materiálu a taky zjištěním mechanických vlastností jednotlivých vzorků tažných zařízení. Firmou Ostroj a.s. mi bylo poskytnuto 6 různých vzorků kulových závěsů, tyto vzorky jsou znázorněny na obrázku (Obr. 4.1.). Všechny byly vyrobeny stejnou technologií zápusťkového kování, ale lišily se v tepelném zpracování. První tři vzorky byly tepelně zpracovány normalizací, touto technologií se tažná zařízení doposud vyráběla. Další tři vzorky byly upraveny řízeným ochlazováním. Tuto metodu se snaží firma Ostroj a.s. zavést, aby zlevnila celkovou výrobu. Mým úkolem bylo zjistit mechanické vlastnosti daných vzorků, které jsme zjišťovali tahovou zkouškou, porovnat vzorky s požadavky zákazníka a zjistit tak, zda bude možné novou technologií tepelného zpracování vyrábět dané výkovky. Úkol číslo dvě spočíval ve stanovení mikrostruktury vzorku pomocí metalografického výbrusu, porovnání mikrostruktur a stanovení velikosti zrna.



**Obr. 4.1.** Tažné zařízení, které jsem zkoumal. [1]

##### 4.1. Stanovení struktury vzorků

Příprava vzorků, nejprve jsme museli tažná zařízení rozřezat a připravit vzorky, ty jsou znázorněny na (Obr. 4.2.). Rozřezání jsem prováděl na pásové pile v laboratoři VŠB na požadované rozměry.



**Obr. 4.2.** *Nadělené tažné zařízení na vzorky pro metalografický výbrus. [1]*

Na části, které jsou k vidění na (Obr. 4.2.) jsem rozřezal všechny kulové závěsy a následně z nich prováděl metalografický výbrus, abychom zjistili mikrostrukturu strukturu každého kusu zvlášť. Po nařezání bylo nutné označení, aby nedošlo k záměně daných vzorků. Jednotlivá čísla, kterými jsou označeny vzorky v mém případě znamenají tvrdosti materiálu po tepelném zpracování v HBW.

#### **4.1.1 Postup metalografického výbrusu**

V první části jsem nařezané vzorky zbrousil na brusných papírech od nejhrubších po nejjemnější. Při ručním broušení obvykle držíme vzorek jedním směrem. Při přechodu na brusný papír s menší drsností vzorek opláchneme vodou, lihem a osušíme ho horkým vzduchem, dále jej otočíme o 90° a brousíme jej ve směru kolmém k předcházejícímu směru. Kvalitní oplachování vzorku je nutné, aby nedošlo k znehodnocení jemnějšího papíru

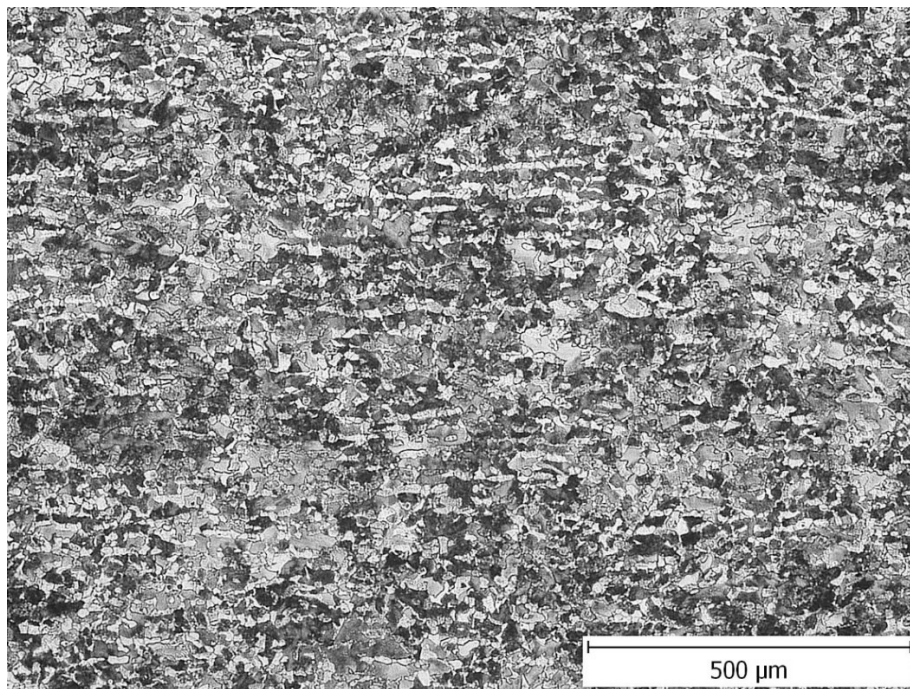
uvolněnými zrnky hrubšího brusiva z předchozího papíru. Brousíme tak dlouho, dokud zcela nezmizí drážky reprezentující předchozí směr broušení. Poté opět opláchneme a přejdeme na jemnější papír.

V našem případě jsem zvolil brusné papíry o zrnitosti 60, 120, 320, 600, 800, 1200 a 1500. Broušení jsem prováděl na brusných strojích metasinx, které chladí vzorky při broušení tekoucí vodou. Brusný papír zrnitosti 60 jsem použil proto, že po nařezání tažných zařízení na vzorky pro metalografii jsem prováděl na pásové pile, která nechala dost hrubý a nerovnoměrný povrch a musel jsem vzorky nejprve zarovnat. Dále jsem provedl vybroušení na všech uvedených zrnitostech brusných papírů a mohlo dojít k leštění.

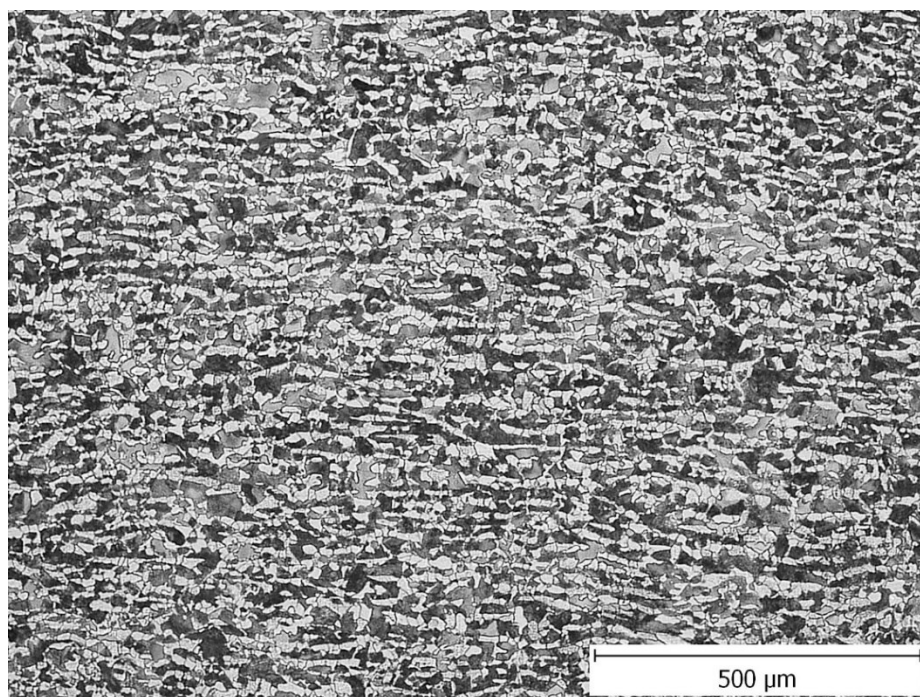
Toto leštění se provádí na leštících kotoučových strojích, kdy se přitlakem vzorku na rotující leštící kotouč za pomoci leštícího média vyleští. V mém případě jsme jako leštící medium použili hlinku. Při leštění pohybujeme vzorkem proti směru otáčení kotouče, dokud nedosáhneme zrcadlového lesku. Po leštění jsem opět vzorky důkladně omyl vodou a lihem, a osušil je horkým vzduchem. Vyleštěné vzorky jsem poté naleptal 4% kyselinou dusičnou a opakoval proces leštění a naleptání ještě 3x za účelem zlepšení viditelnosti mikrostruktury pod mikroskopem.

#### 4.1.2. Výsledky struktur

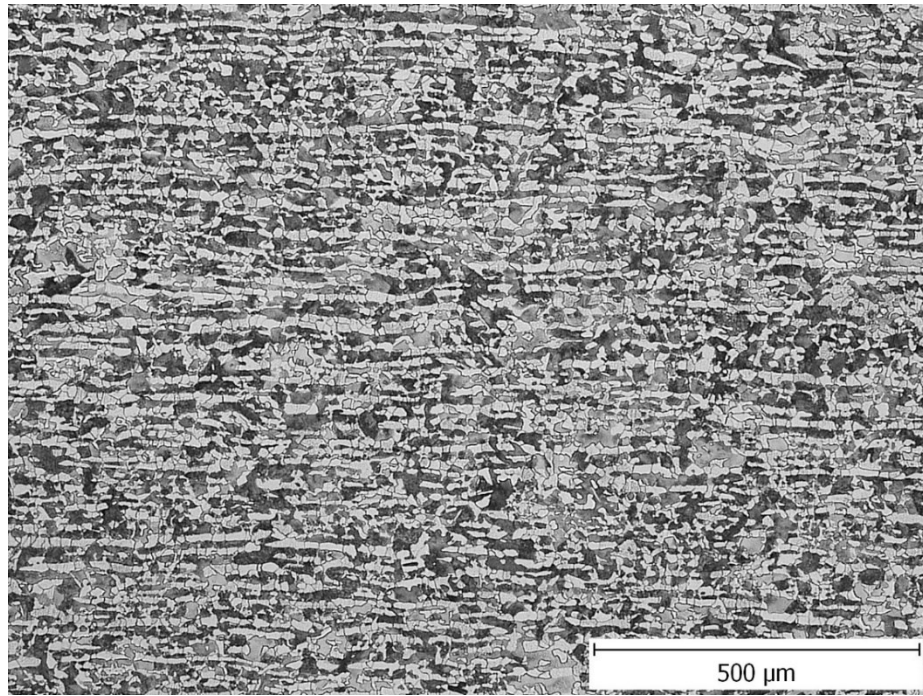
Výsledné fotografie struktur ze vzorků, které měli po dokování jako tepelnou úpravu normalizační žíhání jsou uvedeny na (obr. 4.3, 4.4 a 4.5)



**Obr. 4.3** Fotografie ze vzorku po normalizačním žíhání s tvrdostí 160 HBW. [1]



**Obr. 4.4** Fotografie ze vzorku po normalizačním žíhání s tvrdostí 163 HBW. [1]

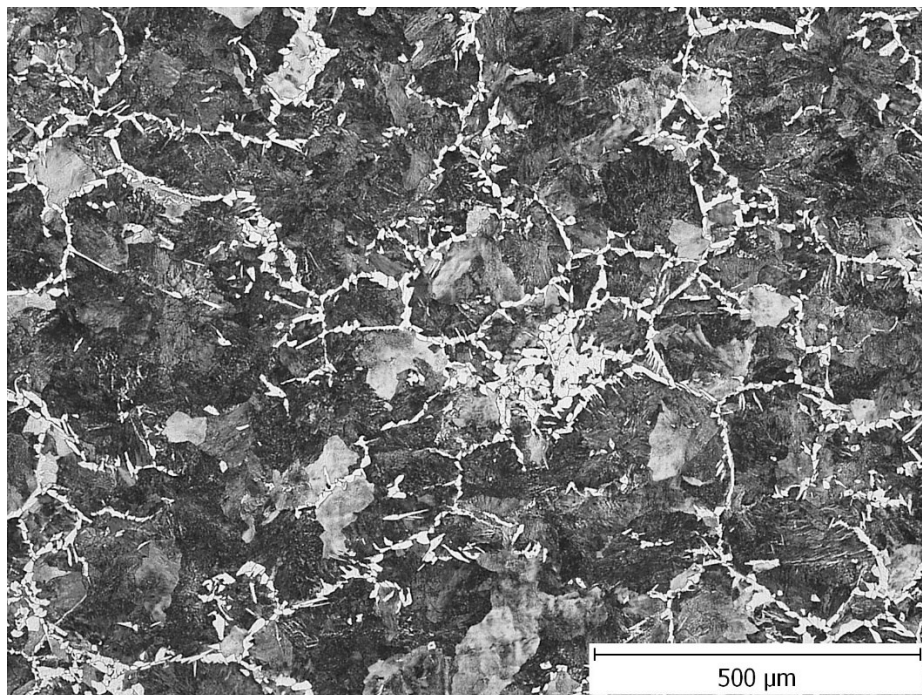


**Obr. 4.5** *Fotografie ze vzorku po normalizačním žihání s tvrdostí 166 HBW. [1]*

U těchto tří fotografií vidíme, že díky normalizačnímu žihání je struktura pravidelná feriticko perlitická s řádkovitým uspořádáním. U vzorku 160 je zřetelné, že struktura je ještě mírně neuspořádaná, ale u dalších dvou už jsou uspořádané zrnka feritu a perlitu v řádcích. V prvním vzorku s tvrdostí 160 HBW jsem zjistil velikost zrna 11,5  $\mu\text{m}$ . U dalšího vzorku, který měl tvrdost 163 HBW byla naměřena velikost zrna 11,3  $\mu\text{m}$ . A u posledním vzorku s tvrdostí 166 HBW jsem naměřil velikost zrna 10  $\mu\text{m}$ . Z těchto velikostí zrna je patrné, že velikost zrna se od sebe příliš neliší.

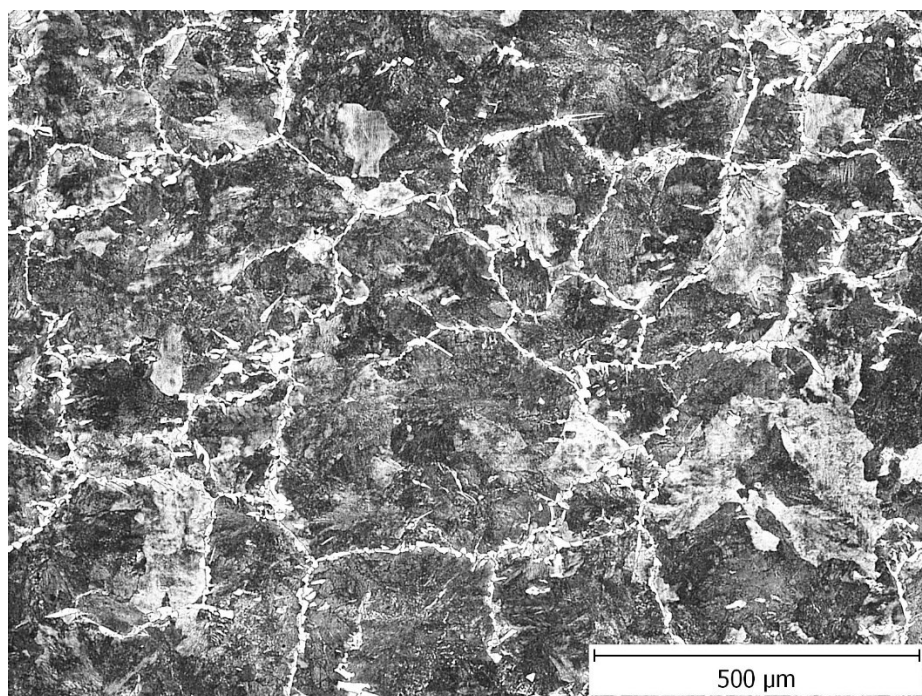


Jako další výsledky struktur uvádím strukturu, kterou jsem zjišťoval ze vzorků, jež byly po vykování řízeně ochlazovány na dopravníku BY.

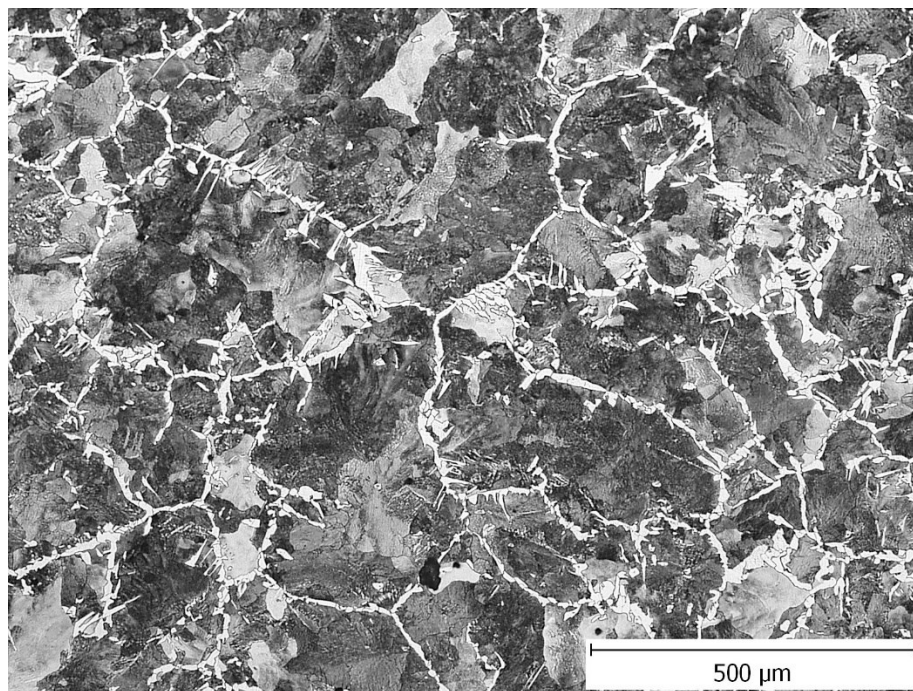


**Obr. 4.6.** Fotografie ze vzorku, který byl upraven řízeným ochlazováním s tvrdostí 183 HBW.

[1]



**Obr. 4.7.** Fotografie získána ze vzorku, který byl upraven řízeným ochlazováním s tvrdostí 189 HBW. [1]



**Obr. 4.8.** *Fotografie ze vzorku, který byl upraven řízeným ochlazováním s tvrdostí 193 HBW.*

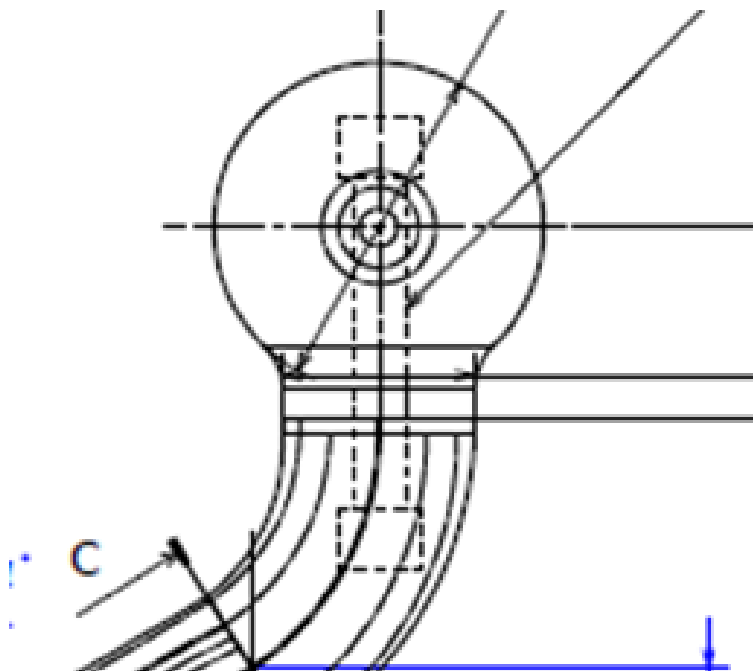
*[1]*

Na třech výše uvedených fotografiích byly vzorky po vykování tepelně upraveny řízeným ochlazováním. Z fotografií je viditelné, že struktura je nerovnoměrná a velikost zrna je daleko větší než u předešlých vzorků. Tento fakt pro nás není až tak důležitý, protože zákazník nedbá na požadavky typu struktury a zajímají ho pouze mechanické vlastnosti, ale je známé že mechanické vlastnosti jsou závislé na struktuře.



## 4.2. Stanovení mechanických vlastností

Mechanické vlastnosti jsem zjišťoval pomocí tahové zkoušky. Vzorky pro tahovou zkoušku, které musí mít přesně dané rozměry, byly vyrobeny ve firmě Ostroj a.s. Na níže uvedeném obrázku lze vidět, odkud byly vzorky z tažných zařízení odebrány.



**Obr. 4.9.** Znáznornění odkud byly vzorky pro tahovou zkoušku odebrány. [12]

### 4.2.1. Postup tahové zkoušky

Tahová zkouška je prováděna tak, že vzorek je uchycen do trhačího stroje a poté je postupně zatěžován silou. Působení síly na testovaný vzorek probíhá až do jeho přetržení. Během tahové zkoušky lze pořídit grafický záznam, souřadnicích napětí – prodloužení, popř. síla – prodloužení. Z výsledků tahové zkoušky byla stanovená mez pevnosti, mez kluzu, tažnost a kontrakce.

Pro výpočet napětí, se používá vztah:

$$\sigma = F / S_0$$

kde  $F$  je síla

$S_0$  je počáteční průřez

$\sigma$  je napětí

Poměrná deformace (tažnost)  $\varepsilon$  se vypočítá podle rovnice:

$$\varepsilon = (L - L_0) / L_0 = \Delta L / L_0$$

kde  $L$  je délka pracovní části zkušební tyče po přetržení

$L_0$  je počáteční délka pracovní části tyče

$\varepsilon$  je deformace

V počáteční fázi namáhání je vztah mezi napětím a deformací lineární a platí zde Hookův zákon. Vztah mezi napětím a deformací je zprostředkován konstantou  $E$  označovanou jako modul pružnosti v tahu (Youngův modul pružnosti) [11]:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

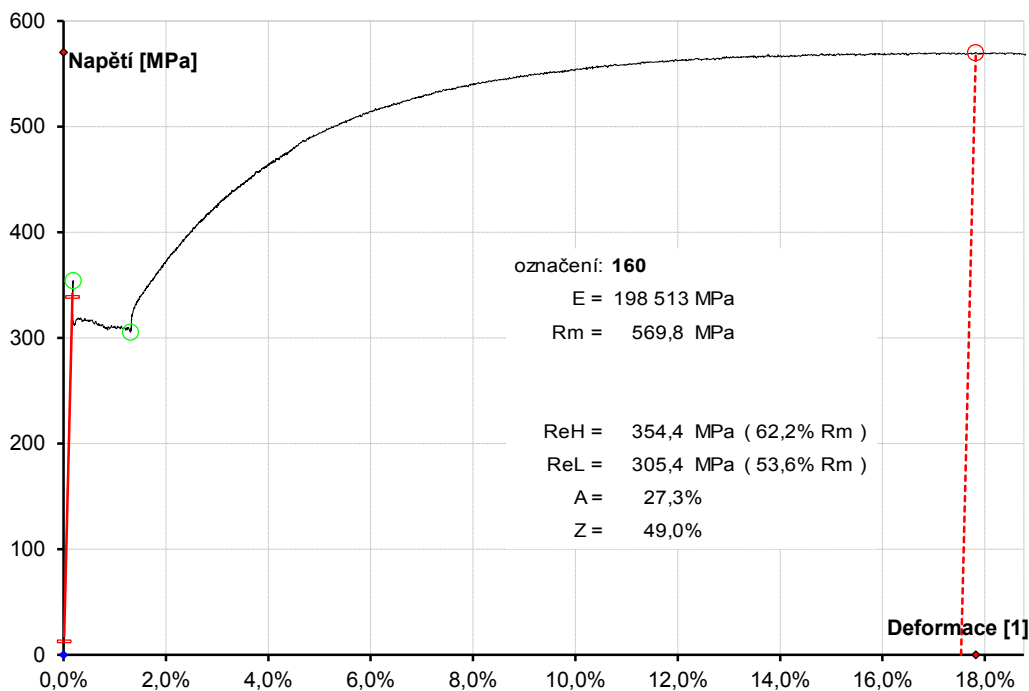
kde  $\sigma$  je mechanické napětí

$E$  modul pružnosti v tahu

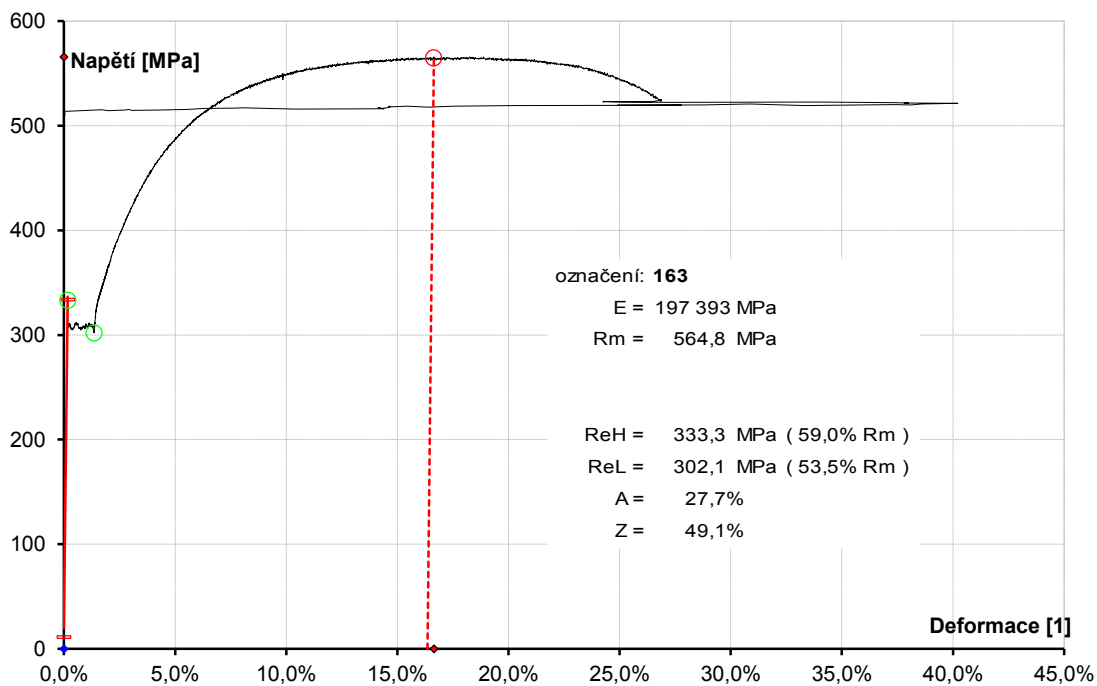
$\varepsilon$  deformace

#### 4.2.2. Výsledky tahových zkoušek a mechanických vlastností

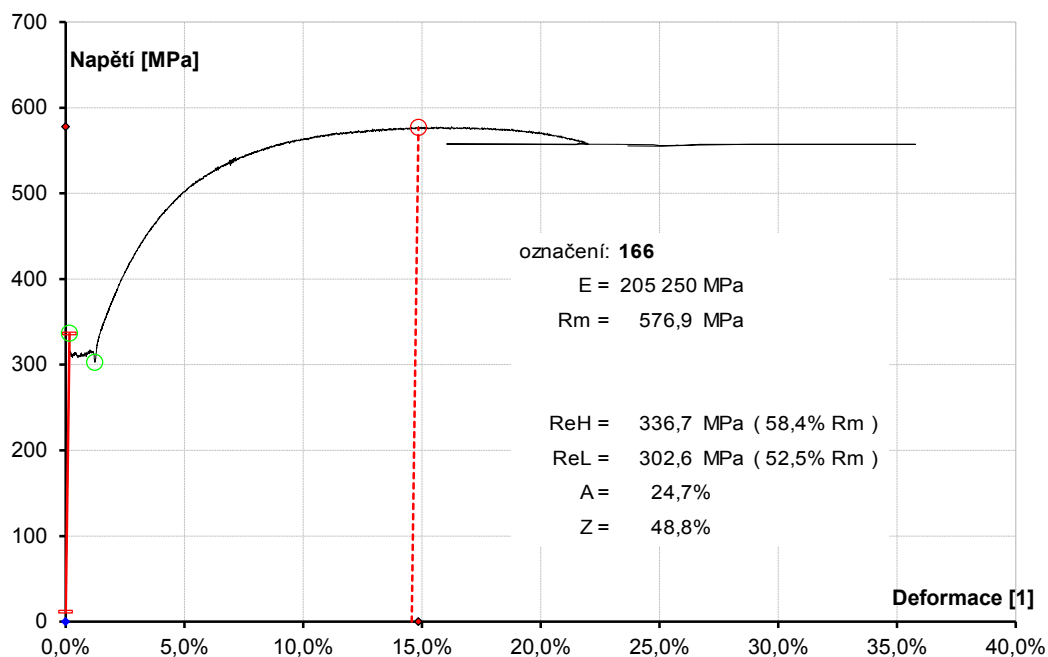
Grafy na (Obr. 4.10) až (Obr. 4.12) zobrazují průběh tahových zkoušek, které byly provedeny na vzorcích po normalizačním žiháním.



**Obr. 4.10.** Graf tahové zkoušky ze vzorku s tvrdostí HBW160 po normalizačním žiháním [1].

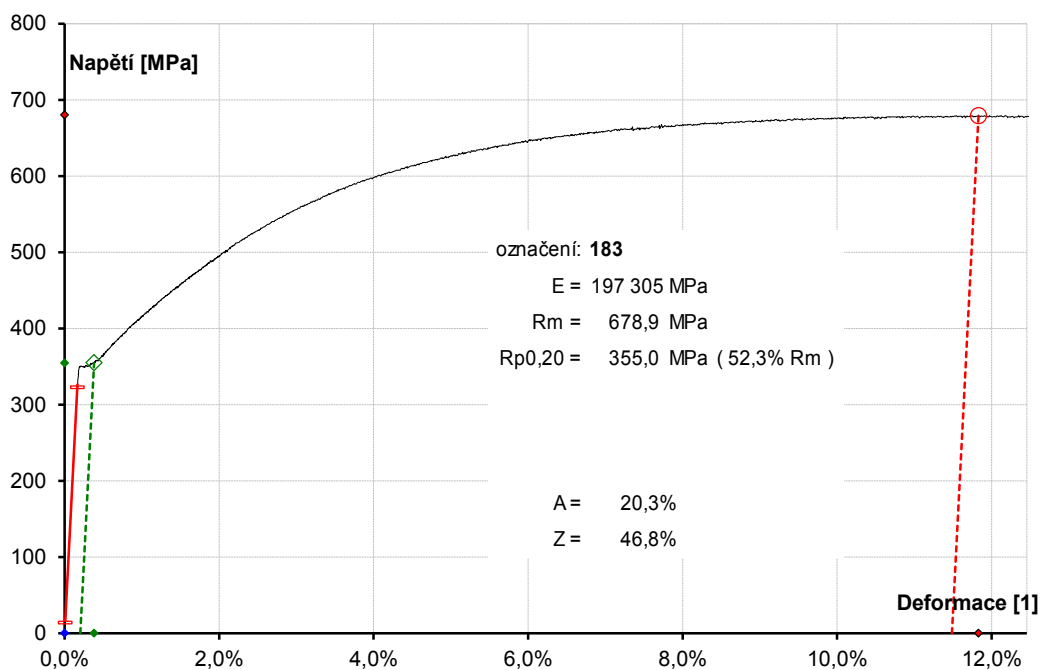


**Obr. 4.11.** Graf tahové zkoušky ze vzorku s tvrdostí HBW163 po normalizačním žiháním [1].

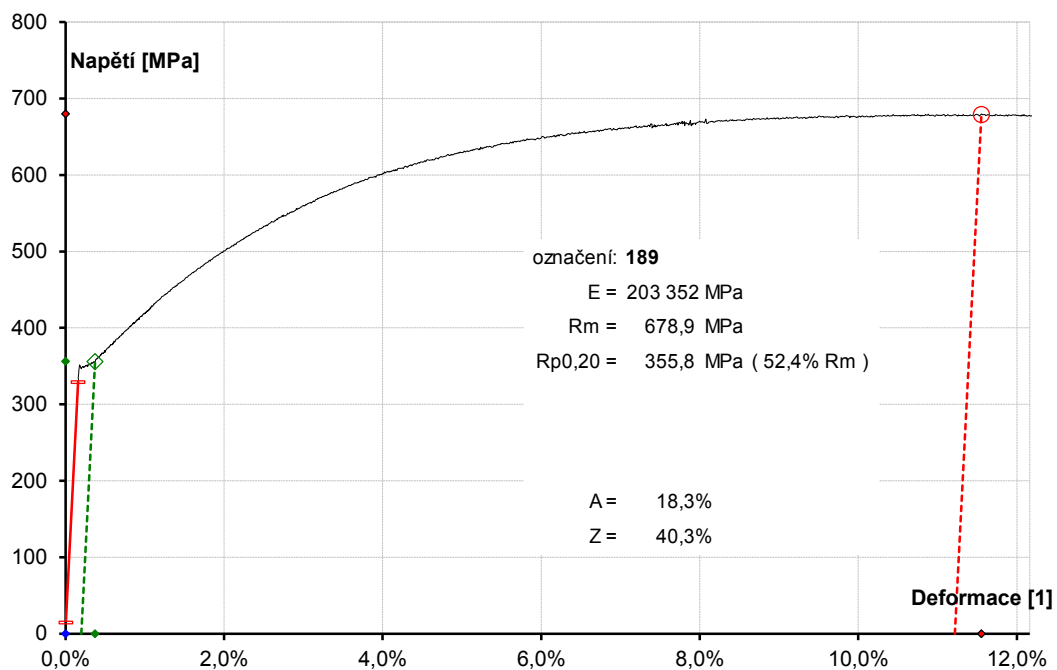


**Obr. 4.12.** Graf tahové zkoušky ze vzorku s tvrdostí HBW166 po normalizačním žiháním [1].

Další grafy podobně jako předešlé, znázorňují opět průběh tahových zkoušek s tím rozdílem, že se jedná o vzorky s rozdílným postupem tepelného zpracování, a to řízeným ochlazováním z dokovacích teplot.



**Obr. 4.13.** Graf tahové zkoušky ze vzorku s tvrdostí HBW 183 po tepelné úpravě řízeným ochlazováním [1].



**Obr. 4.14.** Graf tahové zkoušky ze vzorku s tvrdostí HBW 189 po tepelné úpravě řízeným ochlazováním [1].

## 5. Analýza dosažených vlastností výkovku

### 5.1. Výsledky tahových zkoušek a jejich porovnání s požadavky zákazníka

Mechanické vlastnosti zjištěné tahovou zkouškou v laboratoři VŠB.

Výrobek: kulový závěs

Vzorky po normalizačním žíhání.

Jakost: C45+N

<u>Označení vzorků</u>	<u>Mechanické vlastnosti</u>
1. <u>Vzorek 160</u>	$R_m = 572 \text{ MPa}$ , $R_{eh} = 354 \text{ MPa}$ , $A = 27,3\%$ , $Z = 49\%$
2. <u>Vzorek 163</u>	$R_m = 566,8 \text{ MPa}$ , $R_{eh} = 333 \text{ MPa}$ , $A = 27,7\%$ , $Z = 49,1\%$
3. <u>Vzorek 166</u>	$R_m = 578,9 \text{ MPa}$ , $R_{eh} = 337 \text{ MPa}$ , $A = 24,7\%$ , $Z = 48,8\%$

Požadavky na mechanické vlastnosti po normalizačním žíhání vychází z normy ČSN EN: 10083 – 2.

Vzorky po řízeném ochlazování z dokovacích teplot.

Jakost: C45+BY

<u>Označení vzorků</u>	<u>Mechanické vlastnosti</u>
6. <u>Vzorek 183</u>	$R_m = 680,4 \text{ MPa}$ , $R_{p0,2} = 355 \text{ MPa}$ , $A = 20,3\%$ , $Z = 46,8\%$
7. <u>Vzorek 189</u>	$R_m = 680,9 \text{ MPa}$ , $R_{p0,2} = 356 \text{ MPa}$ , $A = 18,3\%$ , $Z = 40,3\%$
8. <u>Vzorek 194</u>	$R_m = 689,4 \text{ MPa}$ , $R_{p0,2} = 360 \text{ MPa}$ , $A = 20,0\%$ , $Z = 36,2\%$

Požadavky zákazníka na mechanické vlastnosti tažného zařízení vyrobeného z materiálu C45 a následně upravené tepelným zpracováním BY:

$$R_e \geq 370 \text{ MPa}$$

$$R_m \geq 650 - 900 \text{ MPa}$$

$$A \geq 12 \%$$

$$Z \geq 30 \%$$

Z výsledků tahových zkoušek je zřejmé, že vzorky upravené po dokování řízeným ochlazováním mají vyšší hodnoty meze pevnosti a meze kluzu než vzorky, které byly po vykování normalizačně žíhané, ale na druhou stranu mají nižší hodnoty tažnosti a kontrakce. Po zvážení požadovaných vlastností zadaných zákazníkem je lepší tažné zařízení z dokovací teploty řízeně ochlazovat, protože získané vlastnosti více vyhovují požadavkům zákazníka, a také proto, že tento způsob výroby je levnější.

## **5.2. Návrh pro dosažení optimálních mechanických vlastností výkovků**

Z výsledků tahových zkoušek vzorků, které byly upraveny metodou řízeného ochlazování je vidět, že jsme se přiblížili požadované hodnotě mezi kluzu požadované zákazníkem.

Domnívám se, že zajištění požadované meze kluzu, by se dalo zajistit zvýšením rychlosti ochlazování. Také by bylo dobré zvážit možnost instalace zařízení pro snímání teploty na ochlazovacím dopravniku. Tímto zařízením by se dala ovlivňovat rychlost ochlazování a měnit mikrostruktura výkovků a také měnit mechanické vlastnosti podle potřeby. Jednou z dalších možností jak zajistit optimální mez kluzu je snížení dokovací teploty, ale zde je zase nutné zvážit zatékání kovu v dutinách zápusťky.

Další možností by bylo přestavět technologii výroby tak, aby velikost deformace v dokončovací dutině byla vyšší. Tento způsob se mi zdá ale náročný, z důvodu velkého opotřebení a snížení životnosti zápusťky.

## 6. Závěr

Diplomová práce je rozdělena do šesti jednotlivých kapitol. V úvodu jsem popsal problematiku automobilového průmyslu a nastínil téma diplomové práce. V druhé a třetí kapitole jsem teoreticky popsal technologii zápusťkového kování, kterou jsem následně využil v experimentální části, ve které jsem se detailně zaměřil na zjištění mechanických vlastností výkovků tažného zařízení, popisu jejich struktur. Dále jsme provedli, porovnání struktur a mechanických vlastností získaných klasickou technologií kování a struktur a vlastností získaných řízeným ochlazováním z dokovacích teplot.

Největší váhu jsem věnoval experimentální části, kde jsem zjišťoval a porovnával mechanické vlastnosti a struktury u konkrétních vzorků. K získání mechanických vlastností vzorků jsem použil tahovou zkoušku a zkoušku tvrdosti, ze kterých jsem následně vyhodnotil požadované mechanické vlastnosti. Dalším bodem bylo zjistit mikrostruktury daných vzorků, jejich popis a porovnání mezi sebou. Skladbu mikrostruktur jsem prováděl pomocí metalografického výbrusu.

Prvním z cílů diplomové práce bylo porovnání vzorků, které byly vykovány technologií zápusťkového kování, kdy tři vzorky byly po vykování tepelně upraveny normalizačním žíháním a další trojice vzorků byla po vykování upravena řízeným ochlazováním. Jako tepelné zpracování tažného zařízení po dokování bylo doposud voleno normalizační žíhání. Ale z důvodu snižování nákladů na výrobu, požadovala firma Ostroj a. s. zavést po vykování jiný a levnější způsob tepelné úpravy výkovků. Jako nejvhodnější se jeví volba tepelného zpracování řízeným ochlazováním, která nám sníží náklady spojené s ohřevem materiálu pro tepelnou úpravu.

Náplní druhého cíle byla optimalizace technologického postupu a navržení příslušných opatření, abychom získali požadované mechanické vlastnosti, které nám byly zadány na základě požadavků zákazníka. Po vyhodnocení všech mechanických vlastností jedna z veličin, a to mez kluzu se pouze blížila stanovené normě. Proto jsem navrhl opatření, jak požadovanou mez kluzu zajistit. Nejlepší z možností, jak meze kluzu dosáhnout je zvýšení rychlostí ochlazování pomocí ventilátorů na dopravníku, na kterém výkovky chladnou.



## 7. Použitá literatura

- [1] VAN TYNE C. J., KRAUSS G., MATLOU D. K.: Fundamentals and Applications of Micro alloying Forging Steels. Editors, *The Minerals, Metals & Materials Society*, Warrendale, Pennsylvania, 1996.
- [2] Technologie objemového tváření [online]. [cit. 2014-01-6]. Dostupné z: [Http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/03.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm)
- [3] HOLLESCH, J.: Technologie kování zápusťkového výkovku, bakalářská práce. Ostrava VŠB 2010 [cit. 2014-01-11].
- [4] PETRUŽELKA J., SONNEK P.: Tvařitelnost kovových materiálů. Ostrava VŠB, 2007 [online]. [cit. 2014-01-15]. Dostupné z: [Http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/TvCELEupr.pdf](http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/TvCELEupr.pdf)
- [5] CVRČEK J.: Zápusťkové kování pastorku, bakalářská práce. 2013 [online]. [cit. 2014-02-4] Dostupné z: [Http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=64328](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64328)
- [6] ČERMÁK J.: Základy konstrukce zápusťek. Praha ČVUT 2004 [online]. [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: [Http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO2/kov\\_konstrukce\\_zapusťek.pdf](http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO2/kov_konstrukce_zapusťek.pdf)
- [7] BRADÁČ T.: Zápusťkové kování ozubeného kola, diplomová práce. Brno VUT 2010 [online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=27738](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27738)
- [8] DVOŘÁK M., MAREČKOVÁ M.: Technologie tváření - Vybrané technologie objemového tváření za tepla. Brno VUT 2006 [online]. [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: [Http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/technologie\\_tvareni/index.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm)
- [9] TAMURA, I., SEKINE, H., TANAKA, T.: Thermomechanical Processing of High Strength Low-alloy Steels, Butterworths, London, England, 1988.
- [10] Řízené ochlazování. 2011 [online]. [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: <http://www.isvav.cz/resultDetail.do?jsessionid=2617B3427C973AA7BCB999BDD531900E?rowId=RIV%2F49777513%3A23210%2F11%3A43898913!RIV12-MSM-23210>
- [11] Laboratoř mechanického zkoušení kovových materiálů – tahová zk. Praha [online]. [cit. 2014-04-17] Dostupné z: <http://www.vscht.cz/document.php?docId=9643>

- [12] MAŠEK, B., VANČURA, F., JENÍČEK, Š. Kovárenství - řízené ochlazování ocelových zápusťkových výkovků. 2011 [cit.2014-03-26].
- [13] GLADMAN, T.: The Physical Metallurgy of Microalloyed Steels. The Institute of Materials, London, England, 1997.
- [14] DVOŘÁK M., GAJDOŠ F., NOVOTNÝ K.: Technologie tváření. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství cerm, 2007 ISBN 978-80-214-3425-7.
- [15] ČERMÁK J.: Technologický postup zápusťkového kování. Praha ČVUT 2004 [online]. [cit. 2014-06-12]. Dostupné z: [http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO1/vykovek\\_zadani.pdf](http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO1/vykovek_zadani.pdf)
- [16] TAKADA, H., KOYASU, Y.: Strengthening and toughening of microalloyed bainite forging steel. In Symposium on Fundamentals and Applications of Microalloying Forging Steels. GOLDEN COMP., USA, 1996, PP. 143-157.
- [17] KRAUSS, G., BANERJI, S. K.: Fundamentals of Microalloyed Steels. Warrendale: The Metallurgical Society Inc., Pennsylvania, 1987.

## Použité obrázky a fotografie

- [1] Fotografie a obrázky, které jsem získal ve škole při zkoumání tažného zařízení.
- [2] Schéma zápusťkového kování. [online]. [cit. 2014-02-7]. Dostupné z: [Http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/03.htm](Http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm)
- [3] Trojosý stav napjatosti. [online]. [cit. 2014-02-3]. Dostupné z: [Http://mechanika2.fs.cvut.cz/sources\\_old/pp1/teor31.htm](Http://mechanika2.fs.cvut.cz/sources_old/pp1/teor31.htm)
- [4] Graf tahové zkoušky. [online]. [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: [Http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\\_fyziky\\_pro\\_DS/display.php/kontinuum/2\\_6](Http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/kontinuum/2_6)
- [5] Schéma stroje pro tahovou zkoušku. [online]. [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: <Http://fyzweb.cuni.cz/knihovna/deformace/>
- [6] BRADÁČ T.: Zápusťkové kování ozubeného kola, diplomová práce. Brno VUT 2010 [online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: [Http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=27738](Http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27738)

- [7] Typy výronkových drážek. [online] [cit. 2014-03-24]. Dostupné z:  
[Http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO2/kov\\_konstrukce\\_zapustek.pdf](http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/PRO2/kov_konstrukce_zapustek.pdf)
- [8] CVRČEK J.: Zápusťkové kování pastorku, bakalářská práce. 2013 [online]. [cit. 2014-02-4] Dostupné z:  
[Http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=64328](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64328)
- [9] Rozmezí kovacíh teplot. [online]. [cit. 2014-03-21]. Dostupné z:  
[Http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/03.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm)
- [10] Postupová zápusťka. [online]. [cit. 2014-04-2]. Dostupné z:  
[Http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/03-kovani/09-postupova%20zapustka.JPG](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03-kovani/09-postupova%20zapustka.JPG)
- [11] Metací kolo k odstranění okují. [online]. [2014-03-12]. Dostupné z: [Http://tryskani-piskovani.gds.cz/public/default/userfiles/image/Metaci\\_M.gif](http://tryskani-piskovani.gds.cz/public/default/userfiles/image/Metaci_M.gif)
- [12] Fotografie a obrázky, které mi byly poskytnuty firmou Ostroj a.s.

## **8. Seznam tabulek**

- 3.1 Tabulka přídavky na obrábění pro obvyklé provedení
- 3.2 Tabulka zaoblení hran  $r$  a přechodů  $R$  výkovku
- 3.3 Tabulka nejmenší tloušťka dna, blány, disku  $H_1$  a stěny výkovku
- 3.4 Tabulka rozměry ocelových sochorů
- 3.5 Tabulka volba poměru  $G_o / G_v$  jako funkce tvarové složitosti a hmotnosti
- 3.6 Tabulka hodnot smrštění
- 3.7 Tabulka oceli používané k výrobě zápustek
- 3.8 Tabulka chemického složení oceli C45

